

Titre: Étude comparative de trois modes de présentation des alarmes
Title: pour la surveillance d'installations électriques

Auteur: André Gascon
Author:

Date: 2002

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Gascon, A. (2002). Étude comparative de trois modes de présentation des alarmes pour la surveillance d'installations électriques [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/7041/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/7041/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche:
Advisors:

Programme: Non spécifié
Program:

INFORMATION TO USERS

This manuscript has been reproduced from the microfilm master. UMI films the text directly from the original or copy submitted. Thus, some thesis and dissertation copies are in typewriter face, while others may be from any type of computer printer.

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted. Broken or indistinct print, colored or poor quality illustrations and photographs, print bleedthrough, substandard margins, and improper alignment can adversely affect reproduction.

In the unlikely event that the author did not send UMI a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if unauthorized copyright material had to be removed, a note will indicate the deletion.

Oversize materials (e.g., maps, drawings, charts) are reproduced by sectioning the original, beginning at the upper left-hand corner and continuing from left to right in equal sections with small overlaps.

**ProQuest Information and Learning
300 North Zeeb Road, Ann Arbor, MI 48106-1346 USA
800-521-0600**

UMI[®]

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**ÉTUDE COMPARATIVE
DE TROIS MODES DE PRÉSENTATION DES ALARMES
POUR LA SURVEILLANCE D'INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES**

**ANDRÉ GASCON
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)
SEPTEMBRE 2002**



**National Library
of Canada**

**Acquisitions and
Bibliographic Services**

**385 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada**

**Bibliothèque nationale
du Canada**

**Acquisitions et
services bibliographiques**

**385, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada**

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-76995-X

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

**ÉTUDE COMPARATIVE
DE TROIS MODES DE PRÉSENTATION DES ALARMES
POUR LA SURVEILLANCE D'INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES**

présenté par: GASCON André

en vue de l'obtention du diplôme de: Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. IMBEAU Daniel, Ph.D., président

M. ROBERT Jean-Marc, Doctorat, membre et directeur de recherche

M. FISSET Jean-Yves, Ph.D., membre

**À mon épouse Rachel Afriat, à nos deux enfants, Emmanuelle et Laurent,
et à mes parents Carmel et Jean Gascon.**

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier ma femme, Rachel Afriat, et mes enfants Emmanuelle Gascon-Afriat et Laurent Gascon-Afriat, pour ce que cette maîtrise leur a imposé. Ça a signifié beaucoup de temps, d'énergie et de sacrifices pour Rachel, et pour les enfants, moins de temps avec moi. Merci aussi à Rachel pour les idées sur la stratégie et l'organisation du travail.

Merci à mes parents, Carmel et Jean Gascon, pour l'intérêt qu'ils ont continué à porter à mes études, de mon enfance à aujourd'hui.

Merci à François Aubin qui m'a fait découvrir, apprendre et aimer l'ingénierie cognitive, et m'a suggéré des moyens pour m'y impliquer. J'ai apprécié son enthousiasme et son exemple; il m'a apporté de nombreuses idées et de nouveaux points de vue.

Merci à Jean-Marc Robert qui a un sens aigu des éléments nécessaires à un travail de qualité. Merci pour toutes ses excellentes questions, son enthousiasme, sa confiance, et sa critique intelligente et détaillée.

Je tiens à remercier tout particulièrement les opérateurs de la centrale de Beauharnois, Luc Berthiaume, Éric Brancheau, Guy Fortier, Normand Fréchette, Claude Harrison, Jean-Pierre Laberge, Yves Lalonde, Michel Raymond, Pierre Roux, Brigitte Roireau, Claude Thérien, pour leur participation à l'étude, leur patience, leurs commentaires et leurs idées. Merci aussi à Jacques Prigent, leur superviseur, pour son soutien et pour avoir permis aux opérateurs de participer à l'étude pendant les heures de travail.

Merci aussi aux personnes suivantes, qui ont contribué à cette étude soit par leur enseignement, leurs idées, leurs commentaires ou leur support : Séraphin Chan,

Pierre Chênevert, Maurice Daude, Jean-Yves Fiset, Marc Frégeau, Danièle Girard, Carold Gouin, Daniel Imbeau, Ivan Maffezzini, Odile Martial, Pierre Martin, Larry Moran, Van Thich Nguyen, Jean-Louis Pâquet, Benoît Podesto, Ivan Sunderland, Gaston Tremblay.

RÉSUMÉ

Mots clefs : ergonomie cognitive, conduite de processus, interfaces humains-machines, alarmes, centrale de production hydroélectrique.

Cette étude fait partie d'un programme de recherche créé pour définir l'interface humains-machines de la seconde génération d'un système informatisé de conduite de centrales de production hydroélectrique et de postes. Un des éléments de cette IHM est la présentation des alarmes. L'étude a pour but de tester l'efficacité de trois modes de présentation des alarmes dans une centrale hydroélectrique :

- une présentation en liste de l'état actuel des points d'alarmes (l'imagerie de conduite est distincte),
- une présentation intégrée à l'image du processus sur l'imagerie de conduite (annonceur topographique),
- une présentation en liste chronologique des transitions telle qu'on la trouve actuellement sur les systèmes de conduite (l'imagerie de conduite est distincte).

Pour la compréhension rapide d'un événement complexe par l'opérateur, on a fait l'hypothèse que l'annonceur topographique serait le meilleur; tandis que dans les cas où le schéma unifilaire n'est pas disponible, on a fait l'hypothèse que l'annonceur à liste donnant l'état actuel serait préférable à l'annonceur à liste chronologique.

Plusieurs auteurs reconnaissent l'insuffisance des moyens actuels de présentation des alarmes. Par ailleurs l'observation révélait plusieurs problèmes importants avec le mode de présentation en liste chronologique et nous amenait à faire la conjecture suivante : en cas d'événement important, l'opérateur cherche d'abord à connaître le nouvel état du système pour traiter les symptômes immédiatement. Cette conjecture nous suggérerait de nouveaux modes de présentation qu'il importait de bien mettre à l'épreuve à cause des

différences de conception importantes par rapport aux annonceurs à liste chronologique courants.

Les tests ont été exécutés sur une IHM reproduisant l'apparence et le comportement prévus pour l'IHM de seconde génération. Les sujets furent des opérateurs d'expérience placés devant une maquette de l'installation avec laquelle ils étaient familiers.

Les résultats des tests ne montrent pas de différences significatives entre les modes de présentation testés pour ce qui est de la vitesse et de l'exactitude de compréhension par les opérateurs de divers événements complexes survenant dans la centrale, et ceci même si on abandonne le paradigme d'affichage en liste chronologique au profit de la présentation en liste de l'état actuel. Par ailleurs les opérateurs préfèrent à l'unanimité la présentation en liste de l'état actuel des points d'alarmes à la présentation des transitions en liste chronologique.

On en conclut que la présentation en liste chronologique n'est probablement pas nécessaire en conduite de première ligne, et qu'il est préférable de donner en liste l'état actuel des points d'alarmes.

La présentation en liste demeure indispensable pour s'assurer d'une détection sûre et pour la gestion des anomalies. La présentation topographique est utile simultanément à la présentation en liste pourvu que la gestion des messages d'alarme soit faite sur la liste. Cette double représentation supporte le mode d'exploration utilisé par tous les opérateurs lors des tests, c'est à dire une alternance du regard entre les deux présentations.

Les résultats renforcent la conjecture selon laquelle, en cas d'événement important, l'opérateur cherche d'abord à connaître le nouvel état du processus pour traiter

immédiatement les symptômes. L'IHM doit donc lui présenter, autant que possible, l'état actuel du processus et des alarmes. La reconnaissance de patrons étant la voie royale pour une compréhension rapide, cette information doit être présente en permanence pendant la marche normale du processus. L'opérateur est ainsi familier avec la disposition de l'information, et l'a immédiatement sous les yeux lors d'un événement important.

Si le but de la surveillance est le maintien de la conscience de la situation, une perturbation importante du processus constitue toujours un défi important au rétablissement rapide de la conscience de la situation après l'événement. Il faut continuer à chercher de meilleurs modes de présentation et de filtration des alarmes pour aider l'opérateur dans cette tâche. Les nouvelles présentations testées au cours de cette étude sont un pas dans cette direction, tandis que la conjecture ayant présidé à leur conception indique une voie à suivre.

ABSTRACT

Keywords : cognitive engineering, process control, man-machine interfaces, alarms, hydroelectric power plant.

This study is part of a broader scope research program aimed at defining the man-machine interface (MMI) for a second generation's electric substations and power plants computerized control system. One aspect of this MMI is the alarm's display. The goal of the study is to test three different ways to display alarms in an hydroelectric power plant:

- a list showing the current state of alarms (the control part of the MMI is separate),
- pictograms in the control part of the MMI, thus showing the alarms integrated within the diagram of the process (topographic annunciator),
- a chronological list of transitions as found today on control systems (the control part of the MMI is separate).

Regarding the rapid understanding of a complex event by an operator, we made the hypothesis that the topographic annunciator would be best. When the one-line diagram of the process is not available, we made the hypothesis that the list showing the current state of the alarms would be better than the chronological list annunciator.

Many authors acknowledge that the current means of presenting alarms are inadequate. Furthermore, the observation of operators at work is showing that there are many problems with the chronological list annunciators, and leads us to the following conjecture: when a complex event occurs, the operator tries first to understand the new state of the process in order to treat symptoms immediately. This conjecture is indicating to us new means of presenting alarms. It was important to test those new means because they were quite different from the current chronological annunciators.

The tests have been done using a MMI similar in look and function to the MMI envisioned for the control system's second generation. The subjects were experienced operators sitting in front of a MMI showing a familiar PowerStation.

The tests show no significant differences in speed and accuracy of complex event's understanding by operators for the presentation modes tested. This remains true even if the new presentation modes differ significantly from the chronological list paradigm by continuously showing the current state of the alarms. Besides, all operators preferred the list showing the current state of the alarms to the chronological list.

From the experience, we conclude that the chronological list is probably not essential in normal operation. Displaying a list showing the current state of the alarm points is far more appreciated.

It is necessary to display the whole alarm's list in one place to insure detection and to support the anomaly's management. The topographical annunciator is useful in conjunction with the list annunciator as long as the alarm message's management is done with the list. This dual representation supports the exploration mode used by all the operators during the tests. They were looking in alternance at both presentations.

The results support the conjecture that, when a complex event occurs, the operator tries first to understand the process's new state in order to immediately treat the symptoms. To properly support this task, the MMI must display, as far as possible, the current state of the process and the alarms. If that information is always displayed during normal operation, the operator will have instantaneous access to the information. In addition, being familiar with the presentation, he should be able to use pattern recognition which is the best mechanism for a complex situation's rapid understanding.

If the goal of monitoring is to maintain situation awareness, then the occurrence of a complex event is still a serious challenge to the rapid restoration of situation awareness after the event. Further research is necessary to find better alarm presentation means and filters in order to help the operator in his efforts to maintain situation awareness. The new alarm presentation means tested in this study are a step in this direction, while the conjecture that lead to their design shows an avenue to explore.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS.....	v
RÉSUMÉ.....	vii
ABSTRACT	x
LISTE DES TABLEAUX	xvi
LISTE DES FIGURES.....	xvii
LISTE DES DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS.....	xviii
LISTE DES ANNEXES	xxiv
 CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	 1
1.1. Présentation.....	1
1.2. Structure du mémoire.....	2
1.3. Surveillance : Définitions, contexte et application au domaine de la production électrique	3
1.3.1. Sujet d'étude.....	3
1.3.2. Contexte du projet d'étude	10
1.4. Historique de la présentation des alarmes.....	13
 CHAPITRE 2 : CONCEPTION DES MODES DE PRÉSENTATION DES ANNONCIATEURS	 18
2.1. Situation actuelle sur le terrain.....	18
2.2. État de la recherche sur la surveillance.....	24
2.2.1. État de l'art sur les aides à la surveillance	24
2.2.2. Conception de représentations pour la surveillance	29
2.3. Conception des modes de présentation des alarmes	37
2.3.1. Objectifs	37
2.3.2. Approche générale du problème de conception des annonceurs.....	38

2.3.3. Caractéristiques générales des opérateurs	42
2.3.4. Observations et analyse	43
2.3.5. Questions de conception.....	56
2.3.6. Design de l'interface d'annonciation des alarmes.....	59
2.3.7. Solutions retenues.....	60
2.4. Conclusion.....	69
CHAPITRE 3 : COMPARAISON DES ANNONCIATEURS.....	71
3.1. Revue de la littérature sur la comparaison d'annonceurs.....	71
3.2. Problématique	73
3.2.1. Objectif.....	75
3.2.2. Hypothèses	76
3.3. Méthodologie	77
3.3.1. Tâche	77
3.3.2. Événements simulés	78
3.3.3. Maquettes	81
3.3.4. Caractéristiques des opérateurs participants.....	84
3.3.5. Conditions de l'expérience.....	87
3.3.6. Procédure expérimentale	92
3.4. Résultats de l'expérimentation.....	98
3.4.1. Résultats quantitatifs	98
3.4.2. Résultats qualitatifs	104
3.4.3. Analyse de l'activité oculaire.....	106
3.5. Discussion	107
CHAPITRE 4 : DISCUSSION.....	112
4.1. Suite à donner.....	115
4.2. Activité de réponse à un événement complexe.....	120
CHAPITRE 5 : CONCLUSION	121

5.1. Voies de recherche	123
5.2. Recommandation pratique	125
5.3. Post-scriptum.....	125
RÉFÉRENCES	127
ANNEXES	131

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Sous-tâches de la tâche de surveillance.....	59
Tableau 3.1 : Caractéristiques des tests comparatifs	75
Tableau 3.2 : Caractéristiques des sujets	86
Tableau 3.3 : Calendrier des tests.....	97
Tableau 3.4 : Temps requis pour comprendre les événements des scénarios 1 et 2.....	99
Tableau 3.5 : Temps requis pour comprendre les événements des scénarios 4, 5 et 6..	100
Tableau 3.6 : Temps passé à regarder l'annonceur à liste et l'unifilaire.	107
Tableau 4.1 : Avantages et inconvénients des modes de présentation (tels que testés) 	114
Tableau 4.2 : Solutions envisagées avant et après les tests	115

LISTE DES DÉFINITIONS¹ ET ABRÉVIATIONS

Accuser	Pour « accuser réception », sur les annonceurs sur écran, mettre le message d'alarme en vidéo normal sur écran.
Acquitter	Synonyme d'accuser réception.
Acquitté	État d'une alarme ou d'un désaccord dont la réception a été accusée par l'opérateur à l'aide de l'IHM. On devrait dire « accusé ».
Alarme	signal pour alerter.
Alarme	(en contrôle de processus) : 1- représentation (lumière sur panneau d'annonceur ou message sur écran) des événements signalant l'apparition ou la disparition d'anomalies (changement d'état d'entrée numérique ou passage de seuil d'une valeur analogique). 2- le terme recouvre aussi l'anomalie elle-même, ou simplement l'événement. Note: le canal d'annonciation est souvent utilisé par les concepteurs pour signaler des états qui ne constituent pas des anomalies, par exemple la mise d'un appareil en mode manuel.
Alarmes d'annonceur	Un dispositif raccordé à un point d'entrée du système d'automatisation, et qui a un état normal et un état anormal, peut produire des alarmes d'annonceur. Dans le système actuel, plusieurs états sont aussi représentés de la même façon, par exemple « freins en position manuelle ».
Alarme de seuil	Alarme déclenchée lorsqu'une valeur analogique dépasse un seuil prédéfini.
Alarme d'exploitation	Alarme associée à des anomalies de fonctionnement du poste ou de la centrale.
Alarme-système	Associée au système d'automatisation lui-même (certaines alarmes-système sont pertinentes à l'exploitation, quand elles ont un impact direct sur la conduite).

¹ Lorsque plusieurs définitions sont données pour le même mot, elles correspondent aux diverses définitions rencontrées dans la littérature et dans la pratique.

Alarme fatale	Alarme-système qui entraîne le redémarrage du sous-système concerné du système ALCID/SICC (UCC, UT ou UAC).
Alarme bistable	Correspond à un point d'entrée ayant deux états stables : normal et anormal. La plupart des alarmes sont de ce type.
Alarme monostable	Signalée par un contact momentané (ex., redémarrage d'un sous-système).
Alarme permanente	Alarme qui reste active après un événement, et aussi celle qui reste active à long terme lors de l'arrêt d'un groupe par exemple, ou encore en attente d'une réparation.
Alarme rappelée	Une alarme revenue à la normale est rappelée lorsqu'elle n'apparaît plus au tableau des alarmes suite à une commande de rappel faite par l'opérateur à l'aide de l'IHM de l'UCC.
ALCID/SICC	Automatismes Locaux et Conduite par Intelligence Distribuée / Système Informatisé de Conduite de Centrale. Système numérique utilisé pour la conduite des installations, appelé ALCID en poste et SICC en centrale.
Annonciateur	Dispositif de signalisation des alarmes en salle de commande.
- topographique	- avec éléments lumineux distribués sur panneau ou icônes/pictogrammes sur unifilaire sur écran.
- tableau	- avec tableau d'éléments lumineux disposés en matrice sur panneau ou sur écran.
- séquentiel ou chronologique	- avec affichage des libellés d'alarmes ligne par ligne sur écran.
Appareil	Disjoncteur, sectionneur, prise de transformateur, automatisme, alternateur, etc.
CCR	Centre de Conduite du Réseau.
Centrale	Installation électrique où on produit de l'énergie électrique à partir d'une autre forme d'énergie
CER	Centre d'Exploitation Régional.

Changements d'états non autorisés	Un changement d'état non autorisé est un changement d'état d'un appareil non demandé par le système lorsque cet appareil est en mode télécommande. Le changement est alors dû à un déclenchement d'appareil, une manœuvre locale, ou une manœuvre par automatisme local. Un tel changement est codé par le clignotement du symbole de l'appareil sur les schémas unifilaires.
Clavier spécialisé	Composant de l'interface humains-machines de l'UCC utilisé par l'opérateur pour entrer les commandes.
Connexité	Ce qui est branché ensemble électriquement.
Déclenchement	<ul style="list-style-type: none">- Changement d'état commandé par un mécanisme de protection (automatisme de "sauvegarde", dit de protection en électricité; ce système est indépendant du système de conduite.- Changement d'état de marche/fermé vers arrêt/ouvert (groupe, disjoncteur) non commandé par l'opérateur.- Changement d'état involontaire (non autorisé) d'un appareil causé par un système de protection, un automatisme ou une commande manuelle locale (au-delà du système ALCID/SICC, ex : par l'UIC).
Défaut de manœuvre ou réglage	Un défaut de manœuvre est une anomalie détectée lorsqu'un appareil ne répond pas de façon satisfaisante à une télécommande. Voici quelques exemples d'anomalies produisant des défauts de manœuvre: une opération non effectuée, un défaut de sélection, un écart de consigne. L'alarme de défaut de manœuvre ou réglage est affichée au tableau des événements au CER ainsi que comme message à l'opérateur.
Désaccord	Discordance entre l'état actuel d'un appareil et le dernier état commandé par l'opérateur.

Douteux	Se dit d'un composant du système, d'une alarme, d'un appareil (automatisme inclus) ou d'une mesure dont le matériel responsable de la communication de l'état est défaillant. Ce matériel peut être une UAC, le réseau local, l'UCC ou l'UT. Il existe, cependant, l'exception suivante : l'état douteux d'un automatisme interne peut être causé par son absence de l'UAC concernée.
ECE	Enregistreur Chronologique d'Événements; pour analyse post-mortem.
Événement de conduite	Fait inscrit à l'historique de conduite: ECE, alarme, changement d'état, manœuvre; on dit aussi événement de téléconduite et événement d'exploitation.
Événement système	Événement de conduite relatif au système de conduite.
Événement	Événement dans l'installation ayant une incidence sur la conduite. Un événement est en général signalé par un ou plusieurs événements de conduite.
Événement complexe	Événement générant plus qu'environ 6 messages d'alarmes en moins de quelques secondes.
Fil de l'eau	Centrale hydroélectrique sans réservoir, utilisant directement le débit d'un cours d'eau.
Groupe	Ensemble constitué d'une turbine et d'un alternateur. On dit aussi groupe turbine-alternateur ou simplement alternateur.
IHM	Interface Humains-Machines.
Installation	Terme désignant l'ensemble des dispositifs et des bâtiments, soit un poste ou une centrale, où se trouve le système ALCID/SICC.
Langage	Logiciel qui fait automatiquement et en temps réel le diagnostic de l'opération des mécanismes de protection.
LED	Diode lumineuse (Light Emitting Diode)
Logique conventionnelle	Système de conduite avec relais câblés.

Manœuvre	Commande de changement d'état d'un appareil. Par exemple fermer un disjoncteur.
PAANA	Plus Ancienne Alarme Non Acquittée.
PAASNA	Plus Ancienne Alarme du Système Non Acquittée.
Pathogène latent	Panne ou anomalie latente (non détectée) dans un système, et qui se révèle en conjonction avec un événement imprévu.
Point d'entrée	Contact électrique dont l'état est mesuré par le système d'automatisation.
Poste	Installation électrique servant à l'aiguillage et souvent aussi au changement de tension de l'énergie électrique.
Rappel-son	Arrêter la sonnerie, traduction de "bell reset".
Rappel	Arrêter le clignotement et donner l'état présent sur les annonceurs sur panneau, ("reset"); enlever de l'affichage les paires apparition-disparition, c.-à-d. les messages acquittés se rapportant à un point de retour à la normale.
Réglage	Commande modifiant un paramètre d'opération d'un transformateur ou d'un groupe.
Répartiteur	Personne responsable de coordonner l'opération du réseau; il commande au besoin des manœuvres aux opérateurs.
Retour à la normale	Indication de disparition d'une alarme. Le message de l'alarme contient « -R- » dans la colonne N/R de la liste séquentielle sur écran.
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition.
Services auxiliaires	Infrastructure assurant l'alimentation électrique nécessaire au fonctionnement de l'installation.
Signalisation	Indication sur l'IHM de l'état d'un appareil, par exemple qu'un disjoncteur est fermé.
SNCC	Système Numérique de Contrôle-Commande.

Synoptique	Adjectif. (du grec sunoptikos, qui embrasse tout d'un coup d'oeil). Qui permet de saisir d'un même coup d'oeil les diverses parties d'un ensemble: tableau synoptique, panneau synoptique. On dit aussi: le synoptique.
Sous-systèmes	L'UCC et les UAC sont des sous-systèmes du système ALCID/SICC.
Surveillance active	Détection d'anomalies par surveillance constante ou périodique des indicateurs d'état du processus.
Surveillance passive	Détection d'anomalie par un système automatique qui avertit alors l'opérateur.
Tendance	Au sens de graphique de tendance d'une mesure, en anglais "trend".
Téléconduite	Conduite d'une installation à distance depuis un CER.
UAC	Unité d'Acquisition et de Commande d'ALCID/SICC.
UCC	Unité de Conduite Centralisée (IHM d'ALCID/SICC en salle de commande).
UCC-II	Deuxième génération de l'UCC (à venir).
Unifilaire	Schéma électrique simplifié (une ligne pour trois phases).
Unité d'exploitation	Un ensemble d'appareils constituant une unité indissociable au point de vue exploitation (sous-système). Par exemple: un groupe avec ses sectionneurs, le transformateur, le disjoncteur et les sectionneurs d'aiguillage.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : DOCUMENTS HYDRO-QUÉBEC	131
ANNEXE II : IMAGES DES MAQUETTES	132
II.1. LISTE-CHRONO.....	133
II.2. LISTE-ÉTAT	134
II.3. TOPO.....	135
II.3. UCC-II	136

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

Ce chapitre présente d'abord brièvement cette étude et explique la structure du document. Les sections suivantes définissent le contexte de l'étude, et introduisent les notions utiles à sa compréhension.

1.1. Présentation

Cette étude porte sur la conception et l'évaluation de la partie de l'IHM qui présente l'information d'alarme dans une centrale de production hydroélectrique (IHM d'annonciation ou annonceur dans la suite du texte). On s'y intéresse en particulier à la situation suivant immédiatement un événement complexe.

L'étude s'insère dans un projet R&D qui porte sur la définition complète des IHM d'exploitation d'une centrale hydroélectrique. Les analyses et les essais d'utilisabilité tenus lors du projet R&D n'ont pas permis d'étudier suffisamment en profondeur la partie annonciation de l'IHM. La présente étude a donc creusé cet aspect par une analyse et une recherche plus poussées ainsi que des tests dynamiques².

Un cheminement spécifique d'observation, d'analyse et de conception itérative a conduit à l'élaboration de deux nouveaux modes de présentation des alarmes, issus de la conjecture selon laquelle les opérateurs cherchent d'abord à comprendre le nouvel état du système après un événement complexe.

Trois modes de présentation des alarmes ont été comparés lors des tests dynamiques :

- présentation en liste de l'état actuel des points d'alarmes (l'imagerie de conduite est distincte);
- présentation intégrée à l'image du processus sur l'imagerie de conduite;

- présentation en liste chronologique telle qu'on la trouve actuellement sur les systèmes de conduite (l'imagerie de conduite est distincte)³.

L'étude aura permis d'acquérir une meilleure compréhension de la réaction aux alarmes en conduite d'installations électriques.

Il s'agit d'une étude faite avec des opérateurs experts de centrale de production hydroélectrique.

1.2. Structure du mémoire

Cette étude comporte deux volets :

- la conception de nouveaux modes de présentation des alarmes, présentée au chapitre 2;
- un essai comparatif de trois modes de présentation des alarmes, présenté au chapitre 3.

Suivent ensuite des chapitres de discussion et de conclusion basés sur les résultats combinés des deux volets de l'étude.

L'annexe I montre des images complètes des annonceurs testés.

² Tests qui reproduisent fidèlement le déroulement dans le temps d'un événement complexe.

³ En particulier, c'est ce mode qui est couramment utilisé dans les centrales hydroélectriques et postes d'Hydro-Québec automatisés avec le système ALCID/SICC.

1.3. Surveillance : Définitions, contexte et application au domaine de la production électrique

Cette section définit le cadre conceptuel de l'étude. Elle introduit les notions utiles à sa compréhension et situe l'étude dans son contexte.

1.3.1. Sujet d'étude

Cette sous-section situe le sujet d'étude à l'intérieur du champ de l'ingénierie cognitive. Les paragraphes qui suivent expliquent quelques-uns des niveaux montrés dans la Figure 1.1.

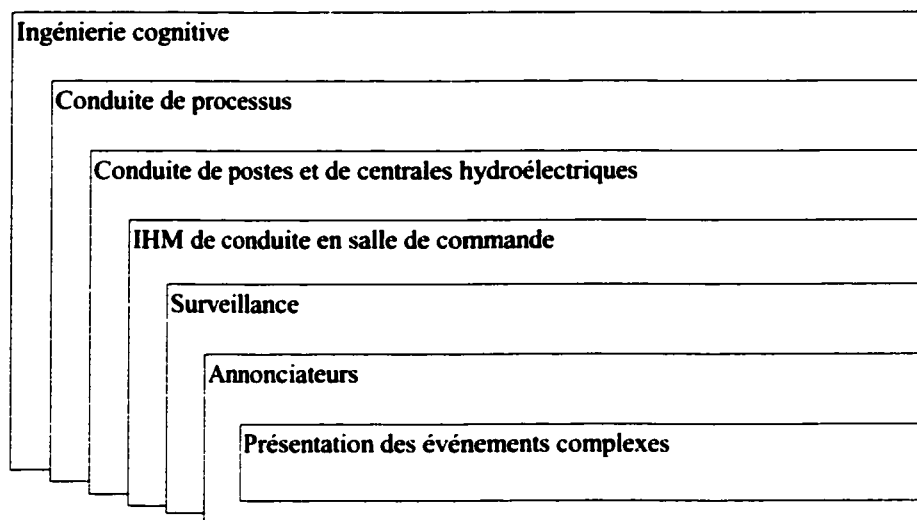


Figure 1.1 : Niveaux d'analyse dans le domaine d'étude de ce mémoire

1.3.1.1. Conduite de processus

La conduite de processus (ou de système complexe) est l'ensemble des activités de commande et de surveillance d'un processus industriel. Un ou des opérateurs sont

normalement engagés dans cette tâche qu'ils exécutent via diverses interfaces aux appareils supportant le processus.

Les caractéristiques des systèmes complexes sont les suivantes (De Keyser 1988):

- multiples variables en interaction;
- dynamique temporelle et temps limité pour intervenir;
- risque pour les humains et les machines;
- objectifs flous, souvent conflictuels.

De plus, des événements complexes non anticipés surviennent fréquemment dans ces systèmes.

1.3.1.2. Conduite de postes et de centrales hydroélectriques

La conduite de postes et de centrales hydroélectriques constitue un cas particulier de conduite de processus caractérisé par de nombreux processus à dynamique relativement simple mais couplés dans une configuration complexe et variable.

Plusieurs de ces processus ont une dynamique temporelle de plus de quelques secondes:

- temps de démarrage et de synchronisation, ou d'arrêt d'un groupe (de l'ordre de la minute ou un peu plus);
- délai de réaction au réglage d'un groupe (peut aller jusqu'à 10-15 secondes);
- temps de fermeture ou d'ouverture de sectionneurs (varie de 2 secondes à plus de 10 secondes);
- variation des niveaux d'eau (très lent);
- variation des températures d'huile, d'eau, etc. (très variable).

Par ailleurs le suivi des manoeuvres manuelles faites par un opérateur second directement sur les appareils (par opposition aux manoeuvres faites depuis la salle de commande) s'opère à un rythme relativement lent.

Les alternateurs et les transformateurs sont à la fois les éléments les plus précieux et ceux qui comportent des processus avec échelle de déroulement d'au moins quelques secondes et parfois de plusieurs minutes, sur lesquels l'opérateur peut parfois devoir agir rapidement pour préserver l'appareil.

En conduite, le schéma unifilaire équivaut à un schéma fonctionnel. Tandis qu'en traitement des anomalies et lors du diagnostic sur un appareil, l'aspect fonctionnel interne de l'appareil devient important.

Dans tous les cas, l'IHM permet à l'opérateur de faire la conduite d'installations électriques (centrales ou postes) sans voir directement les équipements concernés.

L'IHM sert pour la commande, la surveillance, le diagnostic et la maintenance depuis la salle de commande d'une centrale hydroélectrique.

Comme l'illustre la Figure 1.2, on peut distinguer deux canaux distincts dans l'interface utilisateur des systèmes de conduite: l'interface de conduite, avec ses mesures, signalisations d'états et commandes, et l'interface de surveillance passive (l'annonceur) pour avertir des anomalies.

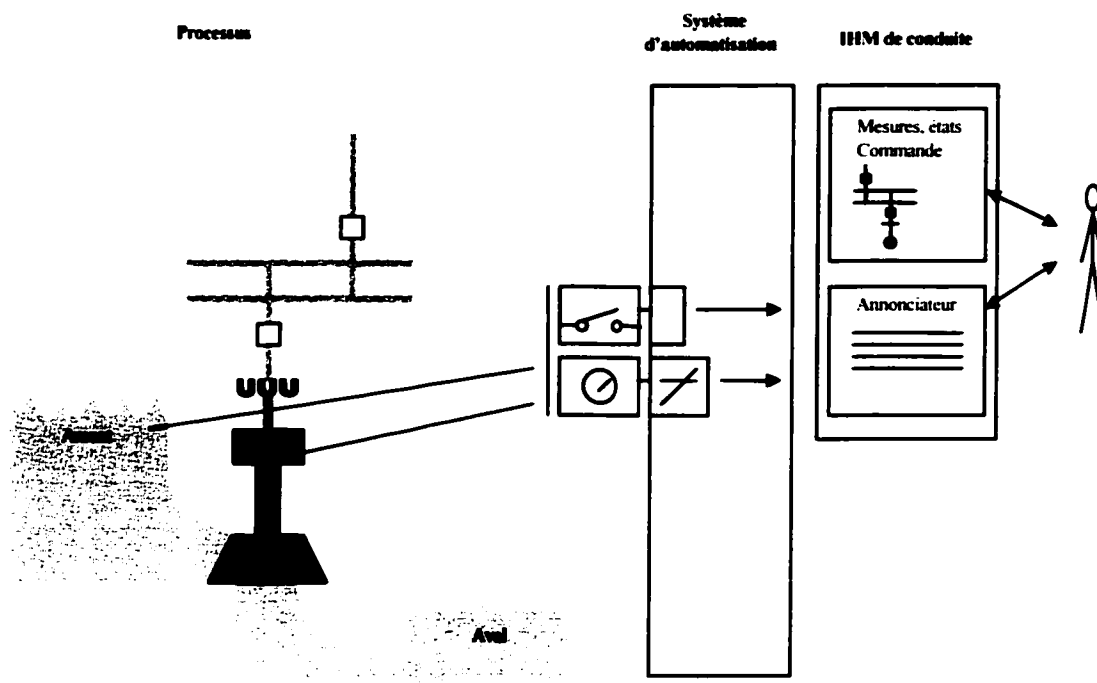


Figure 1.2 : Canaux de communication avec l'humain

Les systèmes de conduite de centrales hydroélectriques et de postes que nous étudions utilisent des écrans cathodiques comme interface de visualisation. Sur ces écrans, les anomalies sont signalées à l'opérateur dans une liste de messages classés chronologiquement. Ceci constitue la partie "annonciateur" du système de conduite.

1.3.1.3. Surveillance

La surveillance est une tâche permanente à laquelle l'opérateur et le système d'automatisation travaillent en collaboration. En toutes circonstances, il faut en effet surveiller l'installation, y détecter les anomalies ou les tendances non souhaitées afin de compenser au besoin, pour protéger l'équipement, les êtres humains et maintenir la qualité du produit (paramètres d'exploitation).

Les anomalies peuvent être de deux types : les anomalies du processus (ex.: niveau amont trop élevé), ou les anomalies des appareils (ex.: haute température de palier).

Deux boucles de surveillance et d'action sont actives en même temps:

- les relais de protection à action automatique très rapide;
- la détection assurée par les annonceurs (surveillance passive) et la surveillance active de l'opérateur combinées avec les actions de ce dernier.

Les signalisations ou messages d'alarme se rapportent soit à l'action d'un mécanisme de protection automatique (ex., déclenchement d'un relais de protection de survitesse sur un groupe, ou d'un relais de protection de sous-fréquence sur le processus), à la valeur anormale d'une grandeur (ex., température trop élevée de l'huile dans un transformateur, niveau d'eau trop haut [processus]) ou à un état anormal (ex., présence de gaz dans un transformateur). Ces deux derniers types de points d'alarme correspondent à des anomalies pour lesquelles on n'a pas installé de mécanisme automatique de compensation, pour lesquelles on a décidé de laisser la décision de l'action à l'opérateur.

Les points d'alarme correspondent à toute grandeur qui doit rester à l'intérieur d'une certaine gamme pour éviter le bris de l'équipement ou préserver le processus. La grandeur doit se prêter à une signalisation simple et éviter ainsi une surveillance active par l'opérateur. Il s'agit aussi d'anomalies dont la réponse automatique en toutes situations est difficile à définir ou trop coûteuse à réaliser, et pour lesquels le temps de

réaction de l'opérateur suffit. Finalement, ce canal d'information sert fréquemment pour les ajouts par l'automaticien d'informations comme des changements d'état normaux (qui ne sont pas des anomalies), des positions de manettes, etc.

L'opérateur peut effectuer une surveillance active en vérifiant périodiquement certains paramètres, et se fier pour le reste au système d'annonceur, ce qui constitue la surveillance dite passive. D'une part l'opérateur ne peut maintenir une attention active soutenue pendant tout un quart de 12 heures, d'autre part le nombre de points à surveiller dépasse de loin ce qu'un être humain peut accomplir. L'annonceur a pour but d'attirer l'attention de l'opérateur sans nécessiter une surveillance active constante qui est coûteuse en personnel et difficile pour l'être humain.

L'annonceur permet donc la surveillance passive. C'est un cas où le système d'automatisation prend l'initiative d'alerter l'opérateur. C'est un canal particulier de traitement, de présentation et de gestion dans un système d'automatisation qui :

- assure la détection d'événements de conduite considérés comme des alarmes;
- alerte l'opérateur et lui présente l'information;
- permet la gestion de l'information par l'opérateur.

On retrouve principalement deux types d'annonceurs : l'annonceur sur panneau et l'annonceur sur écran, ce dernier présentant en général une liste chronologique de messages d'alarmes. Les annonceurs sur panneau et sur écran répondent aux mêmes types d'événements de conduite. Les annonceurs des deux types permettent à l'opérateur de connaître le nombre et l'état des points d'alarme dans la centrale et d'en gérer l'affichage.

L'état de l'installation est normalement relativement stable, avec parfois des changements brusques (souvent des déclenchements). Dans cette étude, on s'intéresse à

des événements provoquant une cascade d'alarmes et de changements d'états, en général dans des successions de cause à effet, et qui peuvent révéler des défauts jusqu'alors latents, ces derniers compliquant énormément la compréhension de l'événement. Les cascades de changements d'états sont généralement assez brèves (souvent moins de 30 secondes, rarement plus d'une minute). Dans une cascade typique, une proportion importante des alarmes ne sont plus actives à la fin de la cascade.

Pour les fins de cette étude, on considère qu'une perturbation est importante (événement complexe) si elle engendre plus de six⁴ alarmes en quelques secondes, c.-à-d. assez d'alarmes pour rendre difficile la lecture des messages d'alarme dans une liste chronologique. Certaines journées, jusqu'à 3000 alarmes peuvent parvenir au pupitre de téléconduite d'un opérateur CER. Un événement majeur dans une installation peut engendrer entre 150 et 200 alarmes en moins d'une minute.

La tâche analysée dans l'étude commence à l'apparition de l'événement et dure jusqu'à une compréhension du nouvel état du système suffisante pour pouvoir décider que faire (ou ne pas faire) initialement. On ne parle pas nécessairement de la compréhension de la cause de l'événement.

⁴ Le nombre 6 est un choix un peu arbitraire. Le nombre 10 est de toute évidence trop élevé pour une compréhension rapide de l'état sur un annonciateur à liste chronologique, alors qu'avec trois ou quatre alarmes c'est en général assez facile.

La Figure 1.3 résume le champ couvert par l'étude parmi les choix possibles. Le champ choisi y est codé en caractères gras.

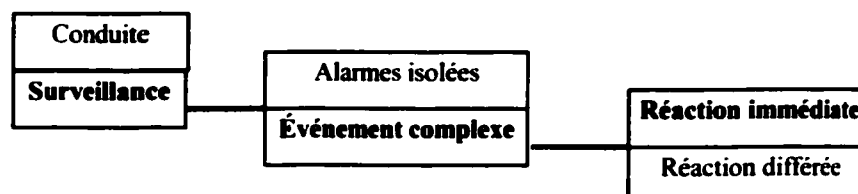


Figure 1.3 : Champ d'application de l'étude

1.3.2. Contexte du projet d'étude

Cette section situe l'étude à l'intérieur des activités de production, de transport et de distribution d'énergie électrique.

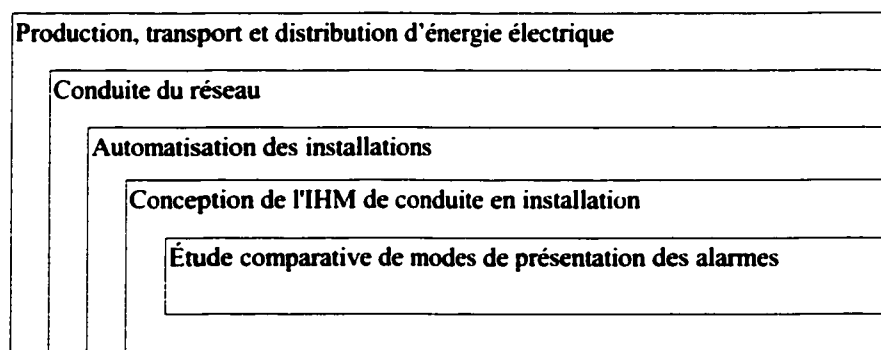


Figure 1.4 : Place du projet d'étude à l'intérieur des activités de l'entreprise

1.3.2.1. Production, transport et distribution d'énergie électrique

L'entreprise produit, transporte et distribue de l'énergie électrique pour des clients internes et externes. La production est issue à 97% de centrales hydroélectriques munies de postes de départ faisant l'aiguillage de l'énergie vers des lignes de transport.

Des postes de transport servent de relais et d'aiguillage pour le réseau de transport.

La distribution aux clients se fait via des postes de répartition et de distribution assurant l'aiguillage, en passant par des lignes de répartition et des lignes de distribution.

1.3.2.2. Conduite du réseau

La Figure 1.5 décrit la structure de la conduite du réseau électrique.

Le CCR gère l'ensemble des mouvements d'énergie dans le réseau de production et de transport.

Les CER assurent la téléconduite des centrales et des postes télécommandés, ainsi que la direction de l'exploitation des installations non télécommandées par des opérateurs mobiles ou gardiens (par téléphone).

La majorité des installations sont télécommandées par les opérateurs d'un CER. On y envoie un opérateur mobile au besoin. Certaines installations (installations vitales ou non automatisées, ainsi que les centrales au fil de l'eau) sont gardiennées, c.-à-d. que des opérateurs y sont présents en permanence.

Le système ALCID/SICC ou encore d'autres équipements de télécommande (stations terminales) dans les installations constituent le dernier niveau dans la structure hiérarchique des systèmes de conduite du réseau.

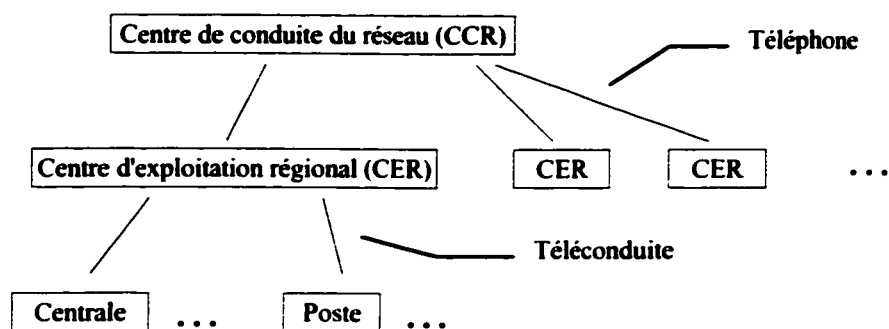


Figure 1.5 : Hiérarchie de conduite du réseau

1.3.2.3. Automatisation des installations

Depuis 1982, l'entreprise a défini et construit son propre système numérique de conduite des installations : ALCID-SICC. Le système est installé dans les postes de transport et de répartition, ainsi que dans les centrales et les postes associés.

Les fonctions principales du système de conduite sont :

- la téléconduite depuis le CER, et la conduite depuis la salle de commande de l'installation, pour effectuer des manœuvres et réglages, et avoir accès aux mesures, signalisations et alarmes;
- l'exécution locale d'automatismes.

Ceci complète la description du contexte de cette étude. La section suivante entreprend l'exploration du sujet des alarmes et des annonciateurs.

1.4. Historique de la présentation des alarmes

Cette section présente un bref historique des annonceurs d'alarmes.

La notion d'alarme existe probablement depuis les premiers animaux. On peut voir les alarmes comme fondamentales au principe de "combattre ou fuir"; l'alarme amène un état d'éveil demandant une décision de se défendre ou de fuir (Stanton, 1994). Dans les sociétés humaines, les cris, les sons de cloche ou de trompette avertissent d'un danger. Dans plusieurs situations, la surveillance est confiée à une sentinelle de façon à permettre aux autres membres du groupe de se consacrer à leurs activités. Normalement, la surveillance ne doit pas monopoliser toute l'attention, mais plutôt laisser des ressources disponibles pour permettre de faire les activités normales.

Dès l'apparition des premières machines, on a eu recours à des indicateurs (cadrons analogiques à aiguille) pour permettre à l'opérateur de s'assurer que la valeur de grandeurs importantes (non perceptibles directement) était à l'intérieur d'une gamme acceptable (ex., le niveau d'huile dans un moteur). Alors que ces indicateurs analogiques montraient des valeurs numériques pour les premières machines, des indicateurs binaires qualitatifs (ex., zone normale et zone anormale pour l'indicateur de température dans certaines voitures) s'y sont souvent substitués quand on s'est rendu compte que, dans beaucoup de cas, la connaissance de la valeur numérique précise n'apportait rien de plus. Ces anciens indicateurs qualitatifs à aiguille avaient l'avantage de montrer la tendance et le côté dynamique de la valeur de certaines grandeurs.

Dans beaucoup de cas, et pour des machines de plus en plus complexes, quand le nombre de ces indicateurs a augmenté en fonction de la complexité des machines, on a eu recours à des indicateurs lumineux pour illustrer un état anormal (allumé) ou normal

(éteint); et ceci en plus des indicateurs de marche/arrêt ou présence/absence d'une condition donnée.

Dans les installations électriques, on retrouve dès le début du siècle des indicateurs d'alarme à signalisation mécanique. Par exemple, les annonciateurs de la Figure 1.6(a) ont été utilisés à la centrale Shawinigan-2 du début du siècle jusqu'à la fin des années 60. Chaque dispositif surveillait un signal, et comportait un indicateur par boule⁵ et un son avertisseur. On retrouve déjà dans ces annonciateurs le concept de capture d'alarmes momentanées⁶; l'opérateur doit réarmer le mécanisme pour savoir si l'alarme est encore active. L'annonciateur annonce donc l'événement de conduite, mais par contre ne montre pas l'état actuel de l'alarme (active ou non); l'opérateur note donc rapidement pour diagnostic ultérieur, puis réarme le mécanisme pour connaître l'état présent.

Ensuite, dès les années 40, on a regroupé dans un seul dispositif plusieurs canaux d'alarme. Ces dispositifs se présentent sous forme de tableaux constitués d'une matrice de plaques pouvant être illuminées en cas de valeur anormale d'un paramètre; il peut aussi s'agir de voyants lumineux à côté d'étiquettes identifiant les alarmes. Ces annonciateurs comportent un signal sonore et une logique d'accusé et de rappel.

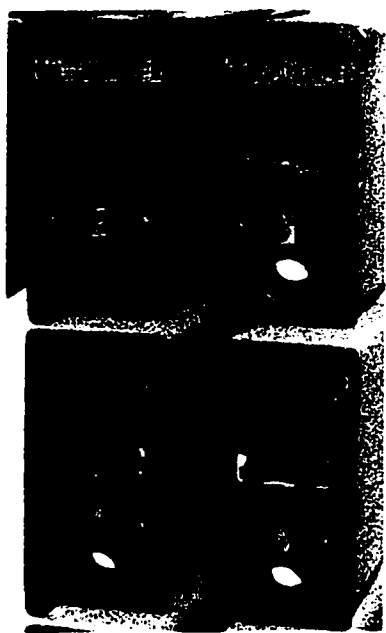
On peut voir dans la Figure 2.1(b) un annonciateur de ce type installé dans la centrale de Beauharnois au Québec. Ces annonciateurs furent installés dans les années 50, et sont actuellement en voie d'être remplacés. Dans plusieurs installations, notamment dans les postes, on retrouve un seul de ces annonciateurs pour toute l'installation. Par ailleurs, dans plusieurs centrales d'importance, comme c'est le cas ici, on retrouve plusieurs annonciateurs de ce type sur le panneau synoptique général de la centrale. On a donc une bonne association topographique des annonciateurs avec des unités d'exploitation importantes comme les groupes (groupe, transformateur, disjoncteur et appareils

⁵ Une boule blanche, normalement invisible, apparaît à l'avant en cas d'alarme.

⁶ Tous les annonciateurs ultérieurs ont cette fonctionnalité.

associés) ou les départs de ligne. Par contre, on retrouve souvent un seul gros annonciateur pour le poste de départ de la centrale, comme c'est le cas à Beauharnois par exemple. Ces annonciateurs sont munis d'un bouton de rappel-son et accusé, ainsi que d'un bouton de rappel.

Annonciateur du début du siècle

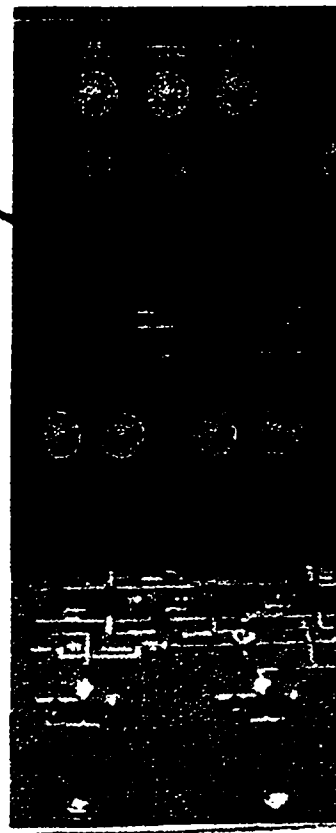


alarme détectée

(a) Annonciateurs de Shawinigan 2

Synoptique avec annonciateurs

annonciateur



(b) Annonciateurs de groupes sur synoptique de Beauharnois

Figure 1.6 : Annonciateurs anciens

Depuis le milieu des années 80, pour les nouvelles installations ou les réfections majeures, on remplace ces annonceurs sur panneau par des annonceurs à liste séquentielle sur écran d'ordinateur⁷.

En parallèle avec ces changements, les façons de travailler ont évolué, en même temps que diminuait le nombre d'opérateurs. On est passé des rondes périodiques avec registre des lectures à des rondes plus informelles, souvent sans registre, les systèmes d'alarme prenant la relève. Les opérateurs d'aujourd'hui sont beaucoup moins nombreux (moins de la moitié), et ont donc la responsabilité de beaucoup plus d'équipement. Ils disposent d'outils plus puissants (dont les annonceurs) pour ce faire, mais sont sans doute beaucoup moins collés à la réalité des équipements qu'ils contrôlent. En particulier les opérateurs au CER n'ont souvent jamais même visité les installations dont ils ont la responsabilité.

En résumé, l'évolution de la tâche de surveillance ainsi que des mécanismes d'aide à la surveillance s'est faite en suivant ce déroulement :

- surveillance active de quelques paramètres : cadrans avec limites;
- surveillance passive de plusieurs paramètres (au plus quelques dizaines): détection de seuil et signal visuel et/ou sonore (mécanismes individuels);
- surveillance passive d'un plus grand nombre de points (de quelques dizaines à quelques centaines) : panneau avec son et matrice de voyants (mécanisme commun). Les voyants sont alors regroupés sur des matrices rectangulaires parce que la logique d'annonce est faite par un appareil spécialisé (l'annonceur) qui offre une interface intégrée;
- surveillance passive d'un très grand nombre de points (souvent plusieurs milliers, parfois plusieurs dizaines de milliers) : affichage en liste sur écran. On a alors trop de points d'alarme pour les présenter dans un tableau sur écran. De toute façon, le

⁷ Ces annonceurs sont décrits plus loin.

tableau supporte mal le diagnostic, et ne donne pas de détail. Par ailleurs, le mécanisme de liste est bien maîtrisé en informatique, tandis que le graphique était encore très peu utilisé lors des années 70. Au CER, on utilisait au début deux listes d'alarmes : une liste pour les messages d'apparition, et une liste pour les messages de retour à la normale⁸; on a ensuite regroupé les deux listes en une seule. Il est probable que les concepteurs de ces annonceurs aient assumé que l'opérateur cherche d'abord à faire le diagnostic de la cause des alarmes, ce qui correspond au mode d'intervention habituel du personnel d'ingénierie lors de l'analyse subséquente à un événement.

⁸ Avec une liste de plusieurs alarmes, l'état actuel d'un point donné devait donc être difficile à déterminer.

CHAPITRE 2 : CONCEPTION DES MODES DE PRÉSENTATION DES ANNONCIATEURS

Ce chapitre présente le premier volet de cette étude, c'est à dire la conception des nouveaux modes de présentation des alarmes en se basant sur l'observation, l'analyse, l'étude de la littérature et les essais d'utilisabilité.

Le chapitre commence par un portrait de la situation actuelle des annonceurs d'alarmes sur le terrain et dans la recherche. Puis on y présente la problématique générale de la présentation de l'information pour la surveillance. On y décrit ensuite le processus de conception des différents modes de présentation des alarmes. Puis on y présente les résultats de l'observation des opérateurs et l'élaboration de la conjecture qui a guidé la conception des nouveaux modes de présentation. On y définit aussi quels problèmes on a choisi d'aborder. L'effort de conception de nouveaux modes de présentation s'est attaqué à ces problèmes. Ce processus a débouché vers les deux maquettes informatiques qui ont été comparées dans les essais comparatifs (deuxième volet de l'étude, au chapitre 3) avec le mode actuel de présentation des alarmes sur écran.

2.1. Situation actuelle sur le terrain

Tout en présentant la situation actuelle des annonceurs sur le terrain, cette section donne un aperçu du fonctionnement des annonceurs utilisés présentement dans l'entreprise.

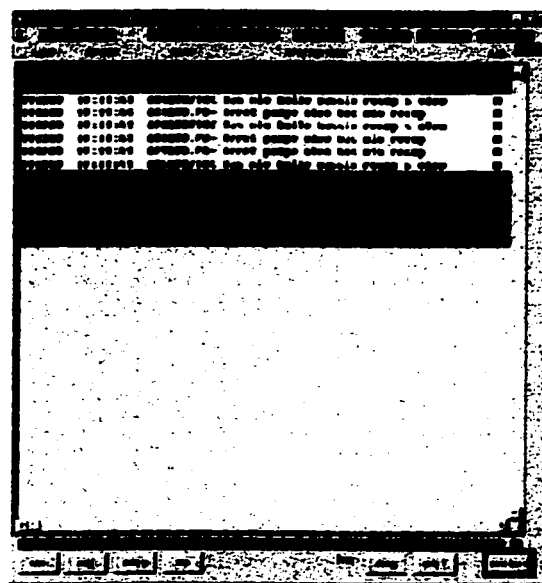
Actuellement, on retrouve deux types d'annonceurs dans les installations, les annonceurs à matrice de LED sur panneau avec généralement 64 ou 128 points (Figure 2.1 a) et les annonceurs à liste chronologique sur écran (Figure 2.1 b).

Annonceur récent sur panneau



(a) Annonceur Positron du poste ouest de Beauharnois

Annonceur à liste sur écran



(b) Annonceur sur écran (liste-chrono)

Figure 2.1 : Annonceurs actuels

Les annonceurs centralisés à matrice de LED sur panneau sont récents, on en installe encore. Ils ne sont pas liés à la topologie du processus car il y a un plus grand nombre de points par annonceur. Par exemple, au poste de transport de Boucherville on retrouve trois ou quatre de ces annonceurs un au dessus de l'autre. Cette disposition permet quand même la reconnaissance de certains patrons ou la mémorisation de la position des alarmes les plus fréquentes, mais ces patrons n'ont pas de relation avec la structure du processus.

En plus de la matrice de LED, on retrouve sur les modèles récents un feu vert et un feu rouge communs, indiquant si la dernière alarme est une nouvelle alarme, un retour à la normale ou une alarme momentanée. Mais ce n'est pas utile quand il y a plus d'une

alarme à la fois⁹. Ces annonceurs servent aussi pour signaler certains états car c'est un canal d'information disponible à bon compte.

La gestion se fait avec deux boutons, un bouton de rappel-son, et un bouton d'accusé¹⁰. La Figure 2.2 illustre le fonctionnement de ces annonceurs.

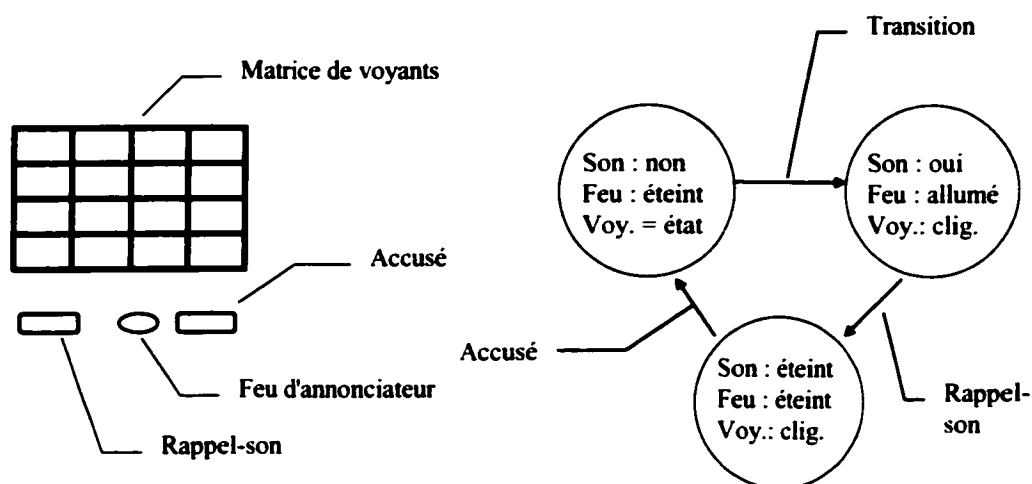


Figure 2.2 : Apparence et fonctionnement typique d'annonceur sur panneau

La séquence rappel-son puis accusé est imposée à l'opérateur pour ne pas manquer des alarmes et avoir le temps d'identifier les nouvelles.

⁹ On pourrait imaginer un annonceur avec deux LED par point, l'une donnant l'état actuel du point, l'autre signalant le changement d'état. On pourrait aussi imaginer un design avec des LED bicolores (rouge, éteint, rouge clignotant, vert clignotant). Ça ne semble pas exister sur le marché.

¹⁰ Ce bouton fait donc aussi le rappel, la lampe s'éteint si le point est revenu à la normale. Par contre, sur les annonceurs à liste, les commandes accusé et rappel sont distinctes.

Les annonceurs sur panneau comportent beaucoup moins de points (10 à 50 pour les anciens, le plus souvent 64 ou 128 sur les annonceurs récents) que les annonceurs séquentiels sur écran (jusqu'à plusieurs milliers).

Les annonceurs à liste sur écran sont présents dans les CER, les CED et les installations. La Figure 2.3 montre le fonctionnement typique de ce type d'annonceur. La Figure 2.4 en montre un exemple. Chaque apparition ou disparition d'une alarme est signalée par une nouvelle ligne de texte; on a donc un message (ligne) pour l'**apparition** d'une alarme, et un autre message (ligne) pour sa **disparition**. Les messages apparaissent en ordre chronologique.

La gestion se fait par rappel-son, accusé et rappel. On peut généralement faire l'accusé des alarmes visibles sur l'écran (une page). Le rappel, par contre, affecte tous les messages des alarmes revenues à la normale.

À l'apparition ou au retour, les libellés sont codés par inversion vidéo (rouge, jaune ou vert) jusqu'à l'accusé. À l'accusé (individuel ou pour toute la page affichée), le texte devient cyan sur fond noir. Si l'apparition et le retour à la normale d'un même point d'alarme sont accusés, le rappel enlève les deux lignes de l'affichage.

L'état actuel d'un point n'est pas évident sans faire le rappel, car les lignes d'apparition et de disparition d'une anomalie donnée peuvent être loin l'une de l'autre, et parmi de nombreuses autres lignes de messages. Après un rappel, seuls les messages d'alarmes encore actives restent affichés¹¹.

¹¹ Cette fonction de rappel est en fait incluse dans l'accusé des annonceurs sur panneau car il n'y a pas d'indications séparées pour l'apparition et la disparition de l'alarme comme c'est le cas pour les annonceurs à liste chronologique.

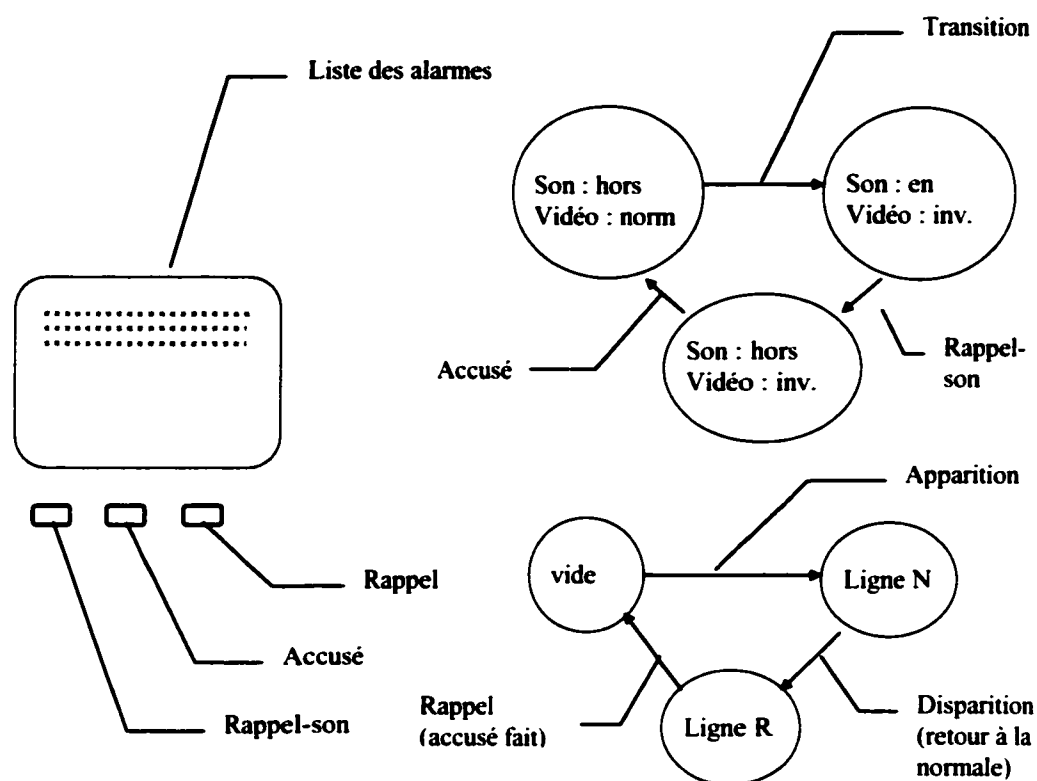


Figure 2.3 : Apparence et fonctionnement typique d'annonceur sur écran à liste chronologique

La maquette d'annonceur chronologique LISTE-CHRONO utilisées pour les tests présentés plus loin est une reproduction de l'annonceur à liste d'ALCID-SICC (Figure 2.4).

DATE	HEURE	CODE	DESCRIPTION	N°
090200	19:11:41	02400071H<	Bas nio huile bassin recup s oleo	N
090200	19:11:41	024000.P0-	Arrêt pompe oleo bas nio recup	N
090200	19:11:41	02400071H<	Bas nio huile bassin recup s oleo	N
090200	19:11:41	024000.P0-	Arrêt pompe oleo bas nio recup	N
090200	19:11:41	025000.P0-	Arrêt pompe oleo bas nio recup	N
090200	19:11:41	02500071H<	Bas nio huile bassin recup s oleo	N

Figure 2.4 : Annonceur à liste chronologique

Les paragraphes suivants s'appliquent spécifiquement aux annonceurs utilisés dans l'entreprise.

Six types de sources d'alarmes sont rapportés via les annonceurs sur écran :

- anomalie d'appareil;
- anomalie de processus;
- autres anomalies non reliées au processus ou aux appareils : ex., eau dans le sous-sol, porte mal fermée, etc.;
- relais de protection (détection d'anomalie par un relais de protection);
- relais de déclenchement (signale la commande de déclenchement par un relais de protection);
- état d'une manette ou clef.

Les alarmes correspondent soit au changement d'état d'une entrée numérique (tout ou rien), ou au dépassement d'une valeur seuil par une entrée analogique. Souvent les

alarmes sont conditionnées de telle sorte qu'une alarme non pertinente selon l'état de l'installation n'est pas générée.

Indépendamment de la fonction annonciateur, certains événements de conduite sont aussi signalés spontanément à l'opérateur:

- déclenchements et désaccords signalés par le son et le clignotement du symbole de l'appareil sur l'unifilaire;
- refus de manœuvre signalés par le son et un message;
- commande invalide signalée par un message;
- information douteuse signalée par la couleur orange de l'élément concerné et une alarme-système. En effet, les alarmes liées au système d'automatisation (anomalies du système d'automatisation) sont signalées sur un annonciateur distinct (alarmes dites "système"); si cette anomalie peut affecter la véracité d'une indication, un codage "information douteuse" est appliqué à l'information affectée (ex., l'état d'un disjoncteur sur l'unifilaire dont l'état est alors codé en orange). Une alarme d'exploitation est aussi générée si l'anomalie système a un impact direct sur la conduite.

2.2. État de la recherche sur la surveillance

Cette section traite de deux aspects de la recherche sur la surveillance, d'abord l'analyse et le constat face aux systèmes de conduite actuels, puis la problématique de la conception des aides à la surveillance.

2.2.1. État de l'art sur les aides à la surveillance

H. Kragt (1984) a effectué une étude comparative de systèmes d'annonciation. L'étude a été faite après l'introduction de la première génération de systèmes de conduite avec

IHM sur écran. Ces systèmes forçaient les opérateurs à passer d'une interface sur panneaux montés verticalement à des écrans, donc d'une présentation essentiellement parallèle à une présentation séquentielle de l'information. Kragt mentionne qu'en 1973, Dallimonti affirmait que l'opérateur n'était pas capable, sur les interfaces à panneaux, de saisir toute l'information d'un coup mais devait plutôt "échantillonner" (en marchant le long des panneaux). Il en concluait qu'il serait plus facile pour l'opérateur d'échantillonner à partir d'une seule position en commandant au système l'information qu'il désirait. Les systèmes conçus pendant les années 70 présentaient tous l'information sur plusieurs pages, rendant donc l'information accessible séquentiellement par l'opérateur. Mais Kragt rapporte que déjà à la fin des années 70 et au début des années 80, plusieurs auteurs mentionnaient l'intérêt de présenter l'information de façon parallèle. De plus, Kragt lui-même avait pu découvrir dans une étude antérieure que les opérateurs se plaignaient parfois du manque de vue d'ensemble avec les nouveaux systèmes.

Van der Shaaf (1989) rapporte les résultats d'une étude faite par questionnaire dans trois usines chimiques où les opérateurs ont une expérience de la supervision et de la conduite de l'usine à partir de panneaux conventionnels et de systèmes informatiques, et que Fiset (1995) synthétise très bien de la façon suivante :

"

- Les imageries (niveau de détail, groupement des informations) sont souvent conçues en fonction de la compréhension des concepteurs du système, et non en fonction des exigences de conduite;
- En général, les opérateurs semblent plus satisfaits de l'utilisation des panneaux que de l'utilisation des imageries lors d'incidents de conduite;
- Les imageries semblent donner une moins bonne vue d'ensemble que les panneaux.

"

Par ailleurs, pour ce qui est des alarmes, Lees (1983) énumère une liste de problèmes des systèmes d'annonciation qui est encore d'actualité :

- grand nombre de points d'alarme (considéré par plusieurs comme le problème principal);
- grand nombre d'alarmes permanentes;
- confusion entre alarmes et états;
- beaucoup d'alarmes peu ou pas pertinentes, et qui peuvent masquer des alarmes importantes;
- alarmes sur des conditions normales selon l'état du processus.

L'article met l'accent sur le problème des événements complexes, qui semble surtout décrit à l'époque comme un problème de diagnostic.

Lees mentionne déjà qu'il n'est pas approprié de recourir à des systèmes complexes d'analyse d'erreur avant d'avoir appliqué plusieurs solutions simples visant à réduire la proportion d'alarmes non pertinentes. Il suggère donc le recours à des systèmes de gestion des alarmes relativement simples avant de penser à un système d'analyse de faute. Ces systèmes réduisent le nombre d'alarmes jugées non pertinentes et présentent des vues diverses des alarmes, parfois avec intégration avec des variables importantes du processus. Par contre l'accent de la recherche à l'époque était mis sur ces derniers, et non pas sur les modes de présentation.

Les problèmes rapportés avec certains systèmes d'analyse de panne semblent aussi encore d'actualité :

- les arbres d'alarmes sont coûteux à développer, sujets à erreurs et difficiles à modifier;

- des problèmes matériels ou des variations dans la dynamique du processus ont résulté trop souvent dans la suppression d'information valide ou la présentation de conclusions déroutantes ou confondantes.

Face à l'incertitude sur l'efficacité des systèmes d'analyse d'alarmes, plusieurs pensaient alors que le filtrage des alarmes et une bonne intégration des annonceurs avec les schémas synoptiques pourraient être suffisants.

O'Hara et Brown (1991) considèrent que les problèmes de facteurs humains demeurent malgré l'intégration de technologie avancée dans les systèmes d'alarmes des centrales nucléaires. Plusieurs des auteurs cités constatent en effet que les tentatives pour développer des systèmes avancés de gestions des alarmes n'ont pas été pleinement satisfaisantes, et que les opérateurs continuent à préférer les systèmes conventionnels malgré leurs défauts bien connus. Et c'est particulièrement le cas quand il y a beaucoup d'alarmes à la fois. Alors que les méthodes visant à diminuer le nombre d'alarmes donnent des résultats mitigés, il apparaît clairement que l'organisation des panneaux d'alarmes conventionnels par système et fonction est préférée par les opérateurs et augmente leur performance. Les auteurs mentionnent que des approches cherchant à préserver cette approche sur les écrans devraient être considérées. Leur principale conclusion est que le design de systèmes d'alarme effectifs dépendra de la compréhension des forces et des limitations des mécanismes du traitement de l'information de l'opérateur, et de leur variabilité selon les situations rencontrées.

Dans une entrevue sur les interfaces humains-machines, Lejon (1995) insiste à la fois sur l'importance du problème des alarmes et sur l'insuffisance très nette des solutions actuelles :

"Ce problème est en effet très mal résolu et n'a que peu progressé. C'est sans doute le talon d'Achille des SNCC. Sur les SNCC, les alarmes sont devenues la base même de la conduite.

Les filtrages statiques et dynamiques se sont largement répandus mais ils sont encore très insuffisants. Les tentatives de système expert, logique floue, etc. n'ont pas été pleinement concluantes, sans doute par manque de patience (et de dépenses) dans la mise au point sur site. Il faut résoudre ce problème majeur tant dans le traitement des éléments de base que dans la présentation des résultats. Il faut faire appel à une représentation synoptique et non pas sémantique alphanumérique. C'est pourtant le seul élément synthétique de l'ensemble des processus confiés à un opérateur. Mais les analyses sur incident ont prouvé qu'elles n'étaient pas consultées dans ce cas par les opérateurs car 'inconsultables', surtout sous stress.

La liste d'alarmes actuelle doit disparaître (il paraît difficile de trouver une représentation plus mal adaptée). Elle ne doit être, même améliorée, qu'un complément indispensable pour le diagnostic mais accessoire pour la conduite.

On ne peut mieux faire que citer le 'pape' de l'ergonomie de l'avionique J.C. Wanner qui disait en 1991: "Je suis scandalisé à l'idée qu'on soit amené à piloter un système par les alarmes. Je pense que nous nous faisons rouler par les informaticiens; c'est tellement plus simple pour eux de nous amener à un système très simple à programmer, alors que, je suis bien d'accord avec vous, c'est beaucoup plus difficile de prévoir la tendance, la position du point de fonctionnement, etc. Mais il faut lutter contre cette tendance fâcheuse. On échange un problème simplificateur des informaticiens avec un problème beaucoup plus difficile pour nous". Ces propos sont de plus en plus d'actualité..."

Par ailleurs, un échantillonnage des produits (logiciels de conduite de processus) disponibles sur le marché¹² n'a pas permis de trouver un seul cas s'écartant du paradigme d'annonceur à liste chronologique. On offre plusieurs niveaux de priorité, des sons différents, la possibilité de définir une logique de génération d'alarme, des explications facilement accessibles, parfois des vues hiérarchiques, mais la présentation ne s'écarte guère du paradigme, c.-à-d. de la liste chronologique, sans filtres commandés par l'opérateur sauf pour les alarmes permanentes ou traitées chez certains manufacturiers. On voit parfois de petits panneaux d'alarmes.

¹² Plusieurs logiciels d'infrastructure d'automatisation ont été examinés : Altersys, Factory Link, Icom, KEPware, USdata, Utilisoft, Wonderware; ainsi que plusieurs systèmes intégrés : ABB, Cegelec, Elsag-Bailey, Siemens.

Malgré tout, on peut voir dans la salle de commande de Beauharnois un exemple d'annonceur topographique et de liste donnant l'état actuel des points d'alarme. En effet, un peu en retrait du synoptique, on retrouve la console sur écran du système d'alarme d'incendie de la centrale de Beauharnois (Cerberus Pyrotronics). L'écran y est divisé en deux parties. La partie du haut montre un plan simplifié de la centrale avec des pictogrammes d'alarmes apparaissant à l'endroit de la détection d'un feu. La partie du bas donne la liste des alarmes actives par ordre de priorité (les alarmes non encore accusées en premier), sans égard à leur ordre d'arrivée. Bien que la comparaison entre la détection d'incendies et la conduite de processus complexes soit hasardeuse, il est quand même intéressant de voir que ce genre de solution existe déjà dans ce domaine.

Les auteurs étudiant les alarmes sont unanimes à reconnaître que les interfaces actuelles sont mauvaises; plusieurs offrent des solutions partielles, ou des améliorations, mais aucune solution complète vraiment satisfaisante n'a émergé jusqu'ici (Stanton 1994).

On parle du problème des alarmes depuis l'avènement des SNCC, mais on ne semble pas y avoir encore trouvé de solution vraiment efficace.

En conclusion d'un livre exclusivement consacré aux facteurs humains dans les systèmes d'alarmes, Stanton (1994) affirme qu'il reste encore beaucoup de travail à faire sur la façon de combiner efficacement les média traditionnels de présentation des alarmes, et sur la façon d'intégrer ces informations d'alarmes dans un système d'information complet.

2.2.2. Conception de représentations pour la surveillance

Cette section illustre, à travers les travaux de plusieurs auteurs, la problématique de conception des imageries de surveillance.

Lees (1983) présente deux taxonomies de tâches de gestion d'une panne :

- la première¹³ comprend trois étapes: détection, diagnostic et correction. L'accent y est mis sur le mécanisme de diagnostic;
- la deuxième taxonomie, de Pew (1980), n'est que citée sans sembler avoir donné lieu à une recherche subséquente. Par contre elle est plus près de la vision de la tâche de la présente étude :
 - 1 : Activation, détection : l'opérateur détermine qu'une condition anormale existe et demande une recherche plus poussée.
 - 2 : Observation, recueil de données : l'opérateur recueille de l'information sur des instruments en salle de commande et d'autres sources pour aider à définir la condition anormale.
 - 3 : Identification de l'état du système : l'opérateur intègre l'information en une représentation cohérente de l'état actuel de l'usine.
 - 4 : Interprétation de la situation : l'opérateur analyse les implications de l'état actuel du système.
 - 5 : Évaluation des alternatives : l'opérateur évalue les alternatives possibles.
 - 6 : Définition de tâche, sélection de but : l'opérateur décide d'un état cible pour le système.
 - 8 : Formulation d'une procédure : l'opérateur conçoit un plan détaillé pour amener le système dans l'état désiré.
 - 9 : Exécution de la procédure : l'opérateur exécute les actions planifiées.

Lees mentionne le besoin d'informations redondantes pour le diagnostic. Il reconnaît l'importance des affichages synoptiques (de vue d'ensemble) et aborde également le concept de modèle mental du processus, mais sans élaborer sur les conséquences pour le design. La taxonomie choisie guide la conception. En se basant sur la première

taxonomie (détection, diagnostic et correction) qui est centrée sur le diagnostic, Lees s'oriente plutôt vers les solutions informatiques de traitement des alarmes et d'analyse de perturbation.

Au sujet des alarmes et de la conduite, Zwaga & Hoonhoo (1994) insistent sur le besoin de vue d'ensemble, et particulièrement sur le fait que les opérateurs ont tendance à gérer le processus par conscience de la situation (en restant en tout temps conscient de l'état du processus) plutôt que par exception (en réagissant à des alarmes). C'est seulement quand le processus est très stable que les opérateurs vont vérifier de temps en temps quelques variables clés et s'en remettre en grande partie au système d'alarme¹⁴. C'est ce qu'on peut souvent observer dans le domaine hydroélectrique où les processus sont relativement stables. Si on accroît le nombre de processus supervisés par un opérateur, il est possible qu'on force celui-ci à fonctionner de plus en plus par exception plutôt que par surveillance active.

Zwaga & Hoonhoo (1993) ont constaté que les opérateurs impliqués dans le design de l'imagerie sur SNCC ont tendance à préférer aussi peu de pages différentes que possible, de les structurer autour du diagramme du processus, et d'y inclure l'information détaillée qu'ils veulent vérifier régulièrement. On obtient donc souvent des pages très denses en information. Ces pages peuvent être utilisées autant en opération normale qu'en gestion d'anomalie. Cette pratique est en contradiction avec l'opinion communément exprimée dans la littérature sur le design d'IHM pour les SNCC selon laquelle les besoins d'informations pour ces deux situations de conduite sont complètement différents, et que ça doit se refléter dans le design d'affichages différents pour chacune des deux situations.

¹³ Rouse (1983) utilise aussi cette taxonomie.

Dans les deux cas, l'opérateur cherche à comprendre l'état du processus. On peut cependant argumenter que les besoins d'informations requises pour maintenir une image mentale à jour peuvent être différents de ceux qui le sont pour en construire une nouvelle après un événement complexe. Il se pourrait aussi que ce ne soit que la stratégie d'exploration qui soit différente tout en se basant sur les mêmes informations.

Kragt (1984) a conclu de son étude comparative¹⁵ que la présentation en parallèle est préférable, et suggère d'utiliser plusieurs modes simultanés de présentation car le mode utile à un instant donné dépend de la tâche et de l'état du processus.

Si on accepte qu'il faut une imagerie particulière pour la gestion d'événements complexes, on arrive à la conclusion qu'il faut implanter des systèmes de support (intelligents) d'analyse d'événements complexes. Zwaga & Hoonhooht pensent que de tels systèmes mettront beaucoup de temps à venir. De plus, si l'imagerie d'analyse d'événements complexes n'est que rarement utilisée, l'opérateur ne sera pas familier avec cette imagerie et risque de ne pas s'en servir.

Il est essentiel que l'opérateur soit très familier avec l'interface pour trouver rapidement l'information dont il a besoin. Il est probable qu'il oublie jusqu'à l'existence des pages très spécifiques qu'il n'utilise pas assez souvent. Zwaga & Hoonhooht concluent ainsi :

- faire la conduite et la gestion d'événement en utilisant les mêmes pages supporte plus efficacement l'approche de gestion par conscience continue de l'état ("*management by awareness*" plutôt que "*management by exception*") observée chez les opérateurs;
- pour ce qui est de l'apparence chargée des pages, on doit réaliser que l'opérateur expérimenté, qui voit la page tous les jours, va connaître la page sous toutes ses

¹⁴ Si le processus est stable, l'opérateur est en fait conscient de la situation sans faire de surveillance active.

coutures. Même si l'image semble non structurée et chargée au profane, l'opérateur saura parfaitement comment l'utiliser, comment aller y trouver l'information qu'il cherche;

- la conception d'imageries ne sera pas guidée par une approche systématique définissant les besoins d'information en fonction des diverses tâches.

Deux approches intégrées d'analyse et de conception, la conception écologique d'IHM (*Ecological Interface Design*) et la conscience de la situation (*Situation Awareness*), ont émergé ces dernières années.

En se basant sur les principes mis de l'avant par Rasmussen (hiérarchie d'abstraction et le cadre « habiletés, règles et connaissance »), Dinadis & Vicente (1994) ont élaboré l'approche "écologique" pour identifier, à priori, l'information nécessaire pour gérer des événements qui ne sont pas familiers à l'opérateur et qui n'ont pas été anticipés par les concepteurs. En conception, leur idée de base est de prendre avantage de la grande habileté psychomotrice des opérateurs ainsi que de la reconnaissance de patrons en se basant sur les principes de Rasmussen. Appliqués aux alarmes, ces principes les conduisent à coder en couleur un appareil comportant une alarme sur un panneau résumé du processus et sur le panneau détaillé obtenu en « zoomant ». Leur interface permet donc le diagnostic sur la base de l'état plutôt que sur la séquence des événements de conduite. Jusqu'à maintenant, leur conception s'est faite sans la contribution des opérateurs. Leur approche ne commande pas de faire l'analyse de tâche proprement dite. Il n'y a pas encore eu suffisamment de travail de validation pour justifier l'utilisation ou le rejet de cette architecture d'imagerie. Cependant, tout en prenant le parti de supporter un diagnostic efficace ils en arrivent à des principes de conception comparables pour ce qui est des alarmes aux solutions envisagées dans cette étude (voir plus loin).

¹⁵ Voir la section 3.1 pour un résumé de cette étude.

La conscience de la situation concerne la perception au bon moment des éléments critiques de la situation, l'intégration et la gestion de l'information, et l'anticipation des situations futures (Sarter and Woods 1991).

La conscience de la situation est vue comme l'état de connaissance d'une personne à propos d'un système dynamique. Cet état intègre la perception des éléments pertinents, la compréhension de la signification de ces éléments en relation avec les buts de l'opérateur, et la projection des états futurs du système basée sur cette compréhension (Endsley 1995).

Même si l'utilité de la notion de "situation awareness" ne fait pas l'unanimité, on peut facilement imaginer que c'est une façon de décrire ce que l'opérateur essaie de rétablir après un événement. Sans nécessairement souscrire au détail de cette approche, on peut s'en servir comme un point de vue d'analyse du traitement humain de l'information et de la conception de l'IHM (contenu et présentation). Ce faisant, on constate qu'une partie des recommandations va dans le sens des idées de conception des maquettes de cette étude. En particulier, non seulement le design du système doit supporter la conscience de la situation, mais les stratégies d'automatisation doivent permettre de maintenir ou d'améliorer la conscience de la situation; ceci plutôt que de mettre nécessairement l'accent sur la diminution de la charge de travail ou des responsabilités de l'opérateur.

Un aspect important des habiletés cognitives pour la prise de décisions en conduite temps réel est que les décisions sont prises dans le contexte de la connaissance par l'opérateur de l'état actuel du processus (Bainbridge 1983).

Lors d'une panne dans un système, il y a un changement important dans l'état du système. Jusqu'à ce que le changement soit détecté et que le système en faute soit identifié, le modèle de l'opérateur est différent du modèle du système (Baron, Berliner, 1977). Il est plausible qu'après toute perturbation, la première tâche soit l'évaluation de

la situation afin de se reconstruire un modèle à jour du système, pour ensuite pouvoir fonctionner en vraie conscience de la situation.

Face à un système complexe, les opérateurs apprennent à identifier les sous-systèmes qui sont quasi-indépendants et à identifier les variables sans effet et dominantes (Moray 1987). On peut imaginer que c'est particulièrement utile après une perturbation majeure pour comprendre rapidement l'essentiel du nouvel état du système, sans aller dans les détails non pertinents à cette étape. Cela permettrait à l'opérateur d'avoir à ce moment-là une conscience de la situation partielle mais suffisante pour intervenir rapidement à bon escient.

Même si plusieurs auteurs (Woods 1995, O'Hara & Brown 1991) parlent de conscience de la situation, on semble plutôt orienter la recherche de solutions vers de nouveaux affichages distincts, sans faire le pas vers des solutions plus intégrées. On cherche beaucoup à réduire le nombre d'alarmes et à donner de l'information plus synthétisée.

Dans une revue des modèles de résolution de problèmes par les humains, Rouse (1983) constate qu'une grande partie de la littérature sur le domaine général de la résolution humaine de problèmes met l'accent sur le fait que le comportement de l'humain dans des tâches de résolution de problèmes tient beaucoup de la reconnaissance de patrons. Le choix du mode de résolution de problème peut être fortement influencé par la façon dont le problème est représenté. Si la reconnaissance de patrons ne se fait pas, l'humain doit aller plus loin que l'état du système et considérer la structure du système. Une réaction rapide devient alors beaucoup plus difficile, sinon impossible.

Les êtres humains sont excellents dans la reconnaissance de patrons; ils assument que les paramètres manquants ont leurs valeurs par défaut (Reason 1996). La reconnaissance de patrons est donc l'avenue par excellence pour une prise rapide de conscience de l'état

d'un système. Par ailleurs, il importe de s'assurer que tout paramètre qui n'a pas sa valeur normale soit clairement montré au bon endroit dans le patron. Cette recommandation, ainsi que plusieurs autres résumées plus haut, ont fourni des éléments et principes de conception pour les nouveaux modes de présentation.

2.3. Conception des modes de présentation des alarmes

Cette section donne un aperçu du cheminement de conception des nouveaux modes de présentation évalués dans cette étude. Ce cheminement s'appuie sur l'état actuel de l'annonciation d'alarmes sur le terrain et sur le marché, ainsi que sur la littérature sur le sujet (section précédente), mais s'est surtout construit à partir d'analyses ergonomiques à Hydro-Québec. Les premières sous-sections décrivent le cheminement de conception : les résultats de l'observation du mode de fonctionnement des opérateurs et les idées de solutions de représentation. Un résumé de principaux résultats de ce cheminement occupe la sous-section suivante. La description du design des annonceurs est faite à la section suivante.

La structure linéaire du texte ne rend pas compte du caractère non linéaire et itératif du processus de conception.

2.3.1. Objectifs

Les solutions sont toujours fortement teintées par les possibilités d'affichage, et les solutions actuelles sont issues des années 70. On ne pouvait alors présenter autant d'information sur un affichage donné qu'actuellement. On a donc fortement segmenté l'information sur plusieurs pages. Sans pouvoir encore rivaliser avec un panneau synoptique, les moyens actuellement disponibles laissent entrevoir la possibilité de donner assez d'informations en parallèle pour supporter plus efficacement la tâche.

Par ailleurs, on est encore loin d'avoir fait le tour des modes possibles de présentation des alarmes sur écran d'ordinateur. On juge donc pertinent de faire un réexamen des solutions d'affichage avec les moyens technologiques maintenant disponibles.

On envisage la possibilité des gains suivants avec un canal d'annonciation amélioré :

- diminuer le nombre d'erreurs, soit par inaction parce que l'opérateur ne prend pas conscience d'un problème, ou encore par une action inappropriée à cause d'une compréhension inexacte de la situation;
- éviter une action en retard à cause du délai de compréhension chez l'opérateur;
- permettre à un opérateur de maîtriser une situation plus complexe ou plus étendue;
- supporter une plus grande expertise et un meilleur contrôle de situations dynamiques complexes (par rétroaction plus présente et reconnaissance de patrons);
- permettre un meilleur taux de détection des alarmes pertinentes noyées parmi d'autres alarmes.

En particulier, on veut permettre à l'opérateur d'agir plus vite et de façon plus éclairée après un événement complexe :

- pour préserver les équipements (surtout groupes et transformateurs);
- pour éviter que la cascade d'événements ne s'aggrave;
- pour éviter que les actions de l'opérateur n'aggravent la situation.

2.3.2. Approche générale du problème de conception des annonceurs

La réponse de l'opérateur à une alarme, même si simple et isolée, est sujette à de multiples variations selon l'alarme, la situation et l'expérience de l'opérateur. Souvent tout se joue en quelques secondes.

Ces deux éléments (multiplicité des cas possibles et caractère dynamique) rendent difficile l'analyse du comportement de l'opérateur. En même temps, l'automatisation complète du traitement d'alarme apparaît très difficile à cause de la variété des situations possibles, et de l'importance de l'information contextuelle (autres indications, particularités et historique récent) pour juger des alarmes.

Il ressort de la littérature sur le sujet qu'on n'a pas encore trouvé de solution satisfaisante au problème de conception des annonceurs; le problème demeure touffu et complexe, en partie intangible. On a donc abordé le problème de conception en se basant sur la prépondérance d'indices issus de plusieurs avenues de recherche. Cette approche comporte le risque de biais de confirmation; il a fallu être attentif de ne pas y céder tout au long de l'étude.

Les principales avenues d'exploration ont été les suivantes :

- analyse de tâche et de contexte (entrevues dans le contexte de travail des opérateurs);
- analyse des demandes cognitives;
- conception de maquettes et essais d'utilisabilité (essais dynamiques simples [hors contexte]), essais statiques complets [opérateurs dans leur contexte habituel]¹⁶;
- revue de littérature et examen des produits d'automatisation offerts sur le marché.

Les analyses spécifiques pour la surveillance ont principalement eu lieu au CER Maisonneuve et à la centrale de Beauharnois dans le cadre de l'analyse générale de tâche et de contexte pour la conception de l'UCC-II. En particulier, près de 80% de la cueillette d'informations et de la vérification de la conception s'est faite par des observations, entrevues et essais d'utilisabilité avec les opérateurs à la centrale de Beauharnois.

¹⁶ Des essais dynamiques aussi complets que possible [opérateurs dans leur contexte habituel] ont été effectués pour les tests comparatifs (chapitre 3). Les maquettes dites dynamiques reproduisent des événements spontanés comme des alarmes et des déclenchements selon un déroulement précis dans le temps; les maquettes statiques ne font que présenter une situation donnée et répondre à certaines commandes de l'opérateur.

La cueillette d'information s'est faite tout au long du projet R&D. On a puisé dans l'expérience des gens par des entrevues et de l'observation. Les observations ont été réalisées en salle de commande, dans des situations de travail réelles ou en demandant aux opérateurs de simuler des tâches. On a pris des notes et filmé ces sessions. Pratiquement toutes les observations et entrevues ont été réalisées pendant que l'opérateur était en fonction. A quelques rares occasions l'entrevue s'est tenue avec un opérateur en relève, mais toujours dans son contexte de travail. Bien que son travail comporte plusieurs périodes calmes, l'opérateur doit rester disponible en tout temps pour un événement imprévu ou les communications téléphoniques. Il y a souvent des pointes de travail pendant lesquelles il ne doit pas être interrompu. Notre présence ne doit pas le distraire de ses tâches critiques. Les événements importants ne viennent malheureusement (pour les analystes) pas sur demande.¹⁷ Il faut donc normalement se contenter d'interroger l'opérateur sur ses souvenirs. Par contre, on voit régulièrement des changements d'état non autorisés, et des alarmes qui surviennent de façon isolée.

Les analyses de tâches sont principalement basées sur ces observations avec caméra (et parfois de "walkthrough") de cas réels ou de simulation par les opérateurs. Les rencontres avec les opérateurs ont aussi été utilisées pour faire l'analyse des erreurs passées ou encore les questionner sur leur façon de voir le processus et le système d'automatisation.

La rédaction des documents d'analyse, ainsi que la conception et les essais ont permis de se rendre compte des manques d'informations qu'on a comblés par des entrevues ou observations subséquentes. Les analyses de tâche et autres documents produits ont été vérifiés par des opérateurs lors d'entrevues.

Plusieurs activités distinctes ont contribué à l'élaboration de cette étude :

¹⁷ Il est très rare qu'un analyste puisse assister à des avalanches d'alarmes; et il n'existe pas non plus de simulateur.

- conception initiale des annonceurs pour l'IHM hybride¹⁸ de transition à Beauharnois, automne 1995;
- analyse de la tâche de surveillance des opérateurs au CER, automne 1996
- étude de demandes cognitives et de traitement humain de l'information reliés à la surveillance, hiver 1997;
- essais d'utilisabilité, conception finale et suivi de réalisation des annonceurs pour l'IHM hybride de Beauharnois, 1998;
- essais d'utilisabilité pour le projet R&D (sur écrans avec présentation améliorée de l'unifilaire et annonceur à liste donnant l'état actuel avec filtres et repères)¹⁹;
- essai continu en installation réelle d'un annonceur à liste donnant l'état actuel avec filtres et repères.

Les essais d'utilisabilité ont été réalisés avec des maquettes sur papier puis sur écran avec Visual Basic. Dans chaque cas, on a fait une évaluation heuristique de ces maquettes sur la base des critères d'évaluation de Bastien & Scapin (1993).

Les maquettes Visual Basic étaient soit statiques, soit dynamiques à l'aide de scénarios de conduite. Les essais dynamiques ont été simples (hors contexte ou en contexte partiel), tandis les essais statiques étaient complets (opérateurs dans leur contexte habituel).

Ces séries d'itérations de maquettage et d'essais d'utilisabilité avec des opérateurs ont permis de converger vers les solutions comparées dans le second volet de cette étude.

¹⁸ IHM hybride qui présente les alarmes en liste chronologique sur écran et de façon topographique sur panneau synoptique. C'est donc une version parente de l'IHM testée dans cette étude. La maquette utilisée pour les essais dynamiques était constituée d'un ordinateur de type PC présentant une fenêtre montrant quatre annonceurs en panneau et un annonceur chronologique.

¹⁹ La maquette utilisée pour l'UCC-II était constituée de deux ordinateurs de type PC munis d'écrans de 21". Un écran présentait l'unifilaire tandis que l'autre était l'écran de travail, montrant entre autres la fenêtre d'alarmes en liste séquentielle. Les essais pour les alarmes ont surtout porté sur l'apparence statique des écrans, en parcourant avec l'opérateur des scénarios typiques sur les fenêtres pertinentes. Un

Ces essais ont confirmé de façon qualitative la pertinence des interfaces pour les autres situations d'utilisation de l'annonciation (autres que la réaction à un événement complexe) ainsi que pour la conduite en général.

2.3.3. Caractéristiques générales des opérateurs

Formation. La formation académique de base des opérateurs est le secondaire V. Certains opérateurs ont un DEC ou même un baccalauréat. Ils doivent suivre le cours PNE (Programme pour Nouveaux Exploitants) offert par la compagnie (pendant 10 mois), ainsi que divers autres cours (si requis) tels que Gesteau, Code des Travaux, etc. De plus, les opérateurs passent par une période de compagnonnage avec un opérateur d'expérience. Ils exécutent alors leurs tâches sous la responsabilité de l'opérateur expérimenté. Cette période de formation dure tant que le nouvel opérateur ne se sent pas assez à l'aise. La progression suivant des niveaux est échelonnée sur quatre années.

Les opérateurs suivent aussi de temps à autre de petites sessions de formation sur de nouveaux équipements. Par contre les opérateurs se sentent le plus souvent mal renseignés sur les nouveaux équipements et se plaignent souvent que la documentation est insuffisante ou n'est plus à jour sur de grands pans de l'installation.

Connaissance de l'informatique. Les opérateurs doivent connaître l'utilisation des ordinateurs et connaître les environnements graphiques comme "Windows"; mais leurs connaissances informatiques sont très variables. Ils utilisent fréquemment des ordinateurs de type PC pour plusieurs de leurs tâches. Plusieurs d'entre eux ont un ordinateur à la maison. Quelques-uns deviennent véritablement des experts mais la plupart gardent une attitude très pragmatique et n'utilisent que peu de fonctions. Ils

essai de diagnostic rapide de déclenchement a été réalisé, toutes les indications d'alarmes étant présentes

doivent pouvoir utiliser d'autres outils, tels des calculatrices, des télécopieurs, des chronomètres, etc.

Connaissance du système. Le taux de roulement du personnel est très faible, si bien que les opérateurs gardiens (et CER) deviennent tous des experts. Les opérateurs travaillent sur des quarts de travail de 12 heures consécutives²⁰.

Connaissance de la tâche. On peut considérer que tous les opérateurs sont des experts de leur tâche. Ils n'ont cependant pas d'entraînement aux situations d'urgence rares.

2.3.4. Observations et analyse

Cette section présente d'abord les problèmes liés à l'utilisation des outils actuels d'aide à la surveillance passive, puis décrit les comportements des opérateurs avec ces outils.

Lorsqu'on automatise un poste ou une centrale hydroélectrique, on passe de panneaux d'instrumentation conventionnels (très coûteux et difficiles à modifier) aux IHM actuelles sur écran. Pour des considérations de coût, d'évolutivité et de flexibilité on cherche à limiter l'IHM à des écrans. L'IHM actuelle d'ALCID/SICC est issue directement des premières IHM sur écran des années 70, avec leurs annonceurs à liste chronologique d'alarmes (voir la Figure 2.1 b). Au CER on doit présenter les alarmes sur écran car il n'y a pas d'autres moyens pour un opérateur de surveiller 20 installations ou plus.

au début du test.

²⁰ Donc l'interface doit être en mesure de satisfaire des utilisateurs experts. Mais l'interface doit aussi être en mesure de satisfaire des utilisateurs novices (du système d'automatisation) tels que les opérateurs mobiles qui passent rapidement d'une installation à l'autre. On peut en effet considérer les opérateurs mobiles comme des novices du système car il est fréquent qu'un opérateur mobile donné ne visite une

Jusqu'à l'avènement des SNCC, la fonction d'annonciation était normalement faite et représentée de façon distincte des fonctions et présentation de manœuvre, réglages, signalisation et mesures. Avec les SNCC, l'annonciation partage le même matériel, mais pas encore les mêmes fonctions logicielles ni les mêmes affichages.

Le paradigme actuel des annonceurs sur écran de l'entreprise est clairement basé sur la chronologie²¹, sans doute pour bien supporter le diagnostic:

- la date et l'heure sont placées au début de chaque ligne, à l'endroit où on place normalement les informations les plus importantes ou les premières à lire;
- la séquence exacte des apparitions et disparitions est affichée; par contre on doit faire l'accusé-rappel pour connaître l'état d'un point s'il y a plusieurs alarmes affichées;
- l'opérateur ne peut accuser à la fois que ce qui est affiché; on assume qu'il ne peut accuser une alarme sans l'avoir "vue", sans qu'elle n'ait d'abord été présentée à l'écran²².

En résumé, ces annonceurs sont efficaces s'il y a peu d'alarmes à la fois. Mais en cas d'événement complexe, même si l'annonceur peut contenir des informations très utiles à la compréhension, il est très difficile pour l'opérateur d'extraire rapidement l'information avec le mode de présentation actuel.

installation équipée d'ALCID/SICC qu'une seule fois en une semaine ou plus. Ils ont avec l'interface actuelle de la difficulté à se rappeler comment faire les choses d'une fois à l'autre.

²¹ Il existe actuellement un affichage sur écran en mode panneau au CER, orienté état, non intégré à l'unifilaire, sans avertissement ni gestion. L'affichage est normalement utilisé pour faire l'inhibition des points d'alarme (c'est la seule façon de la faire). Cet affichage n'offre pas les fonctions de gestion des messages d'alarme.

²² Mais l'existence d'un mode « panne » montre quand même qu'on a reconnu qu'il y avait un problème en cas de situation très perturbée. Au CER, ce mode d'opération permet de faire automatiquement l'accusé et le rappel des alarmes. Par contre, ce mode est peu ou pas employé par les opérateurs, probablement parce qu'il faut le mettre en marche après le début des événements, et que les opérateurs n'y sont guère familiers.

Les annonceurs sur écran offrent le détail des alarmes, ainsi que l'information temporelle; par contre l'information topographique n'est pas perceptible rapidement, particulièrement en cas de cascade d'alarmes. Cela rend difficile la compréhension rapide du nouvel état de l'installation après une cascade d'alarmes, et pourrait amener l'opérateur à conclure trop vite à partir d'informations incomplètes (les premiers messages d'alarme). Le plus souvent l'opérateur accuse réception et fait le rappel aussi rapidement que possible pour voir l'état actuel des alarmes. En particulier au CER la nécessité de faire ceci pour chaque page d'alarmes apparaît comme une nuisance aux opérateurs. Sur ALCID/SICC l'opérateur perd en agissant ainsi l'historique des événements de conduite sur écran²³.

En comparaison avec les annonceurs sur panneau, c'est donc à la fois différent, et pire sous certains aspects avec les annonceurs informatisés. Si le diagnostic est "théoriquement" mieux supporté, l'opérateur ne peut le faire sur l'annonceur car il doit s'empresse de faire le rappel pour connaître l'état actuel, ce qui fait disparaître la séquence des événements de conduite de l'écran. Il pourra la consulter plus tard sur l'imprimé ou l'historique.²⁴ L'annonceur est à toutes fins pratiques inutilisable s'il y a plusieurs alarmes à la fois car l'opérateur ne peut se faire une idée facile de l'état présent de plusieurs alarmes sans faire le rappel. De plus l'absence de lien avec la topographie du processus rend l'interprétation rapide d'une liste d'alarmes quasi impossible. Le seul patron parfois reconnaissable est l'ampleur du problème et le rythme d'arrivée des alarmes.

Le nombre de points d'alarme croît avec l'automatisation, souvent de près d'un ordre de grandeur. Une centrale comme Beauharnois comporte au delà de 18,000 points d'alarme, 38 groupes turbine-alternateur, plusieurs centaines de disjoncteurs et de sectionneurs, et

²³ L'historique reste cependant disponible sur papier.

une myriade de systèmes de support. En plus, les exceptions et particularités sont légions, et des problèmes latents se manifestent très souvent lors d'événements. Un poste de travail au CER peut couvrir 20 installations, avec chacune une dizaine de pages d'informations et jusqu'à 1,200 alarmes, sans compter les centaines d'autres pages d'informations utiles pour des tâches particulières ou pour obtenir des informations extérieures aux installations couvertes directement.

Dans les installations, les opérateurs arrivent à se débrouiller avec les outils disponibles, mais il ressort des entrevues et des observations²⁵ que plusieurs problèmes sont présents:

- alarmes oubliées, ou pas vues (à cause d'une cascade, d'alarmes oscillantes ou d'un grand nombre d'alarmes permanentes);
- alarmes mal interprétées, ou ambiguës; libellés souvent non compris et manque de documentation appropriée;
- diagnostic difficile;
- difficulté à comprendre le nouvel état du système après un événement important;
- impossibilité pratique de lire rapidement les messages d'alarmes quand il en arrive plus de cinq ou six à la fois.

On a pu constater les problèmes suivants dans l'utilisation de ces écrans pour les alarmes (avec la présentation usuelle) :

- s'il y a plusieurs alarmes à la fois, la liste d'alarmes est inutilisable telle quelle pour ce que veut savoir l'opérateur, c.-à-d. l'état de l'installation; une idée générale de l'état de l'installation est impossible à obtenir. En effet, lorsqu'il y a plusieurs alarmes, la

²⁴ De plus, sur le système SICC, l'affichage se fait par ordre d'arrivée au module d'IHM, donc le diagnostic est hasardeux car l'ordre d'affichage peut parfois être différent de l'ordre d'occurrence.

²⁵ 40 opérateurs en installation et plus de 30 exploitants de téléconduite ont été rencontrés au cours des cinq dernières années.

seule façon pratique de connaître l'état présent d'un appareil est de faire le rappel, ce que l'opérateur s'empresse en général de faire dans ces cas-là;

- il n'y a pas de patrons spatiaux, et un patron temporel non utilisable car on ne sait pas à quoi il se rattache. Il n'y a pas de lien avec la vue d'ensemble du processus, les mesures et les signalisations; les alarmes ne sont pas regroupées par appareil;
- il n'y a pas de regroupement d'alarmes qui sont liées à la même cause;
- une proportion importante (de 70% à 80%) des alarmes ne sont pas pertinentes dans le contexte;
- une alarme individuelle, même majeure, peut facilement passer totalement inaperçue lors d'une cascade;
- en cas d'alarmes à répétition, les opérateurs ont tendance à désactiver la sonnerie, ce qui peut s'appliquer pour une période allant jusqu'à 30 minutes. À la longue, on peut ainsi finir par rater un déclenchement ou une alarme critique;
- les opérateurs hésitent à inhiber une alarme gênante et non pertinente de peur de l'oublier ensuite.

Par ailleurs, plusieurs caractéristiques de la tâche et de la situation concourent à rendre difficile aux opérateurs la réponse aux alarmes:

- il y a avec les SNCC un très grand nombre de sources d'alarmes possibles, en fait de 10 à 15 fois plus qu'avant l'automatisation complète des installations;
- une proportion importante des alarmes ne sont pas pertinentes dans le contexte où elles surviennent (selon les témoignages des opérateurs);
- un événement complexe provoque un stress accru car il peut y avoir risque pour le personnel, l'équipement ou la continuité du service, et certaines situations sont urgentes; de plus la préoccupation de ne pas faire d'erreur devient encore plus aiguë lorsqu'on est pressé par le temps;

- de par l'ampleur des changements, et la manifestation fréquente de problèmes latents au cours de l'événement, il est souvent difficile de comprendre le nouvel état de l'installation après un événement complexe;
- l'opérateur doit souvent prendre une décision (ne pas agir, ou agir rapidement, et alors quelle action prendre ?) malgré l'incertitude, avec de l'information incomplète et parfois non fiable.

Ceci va dans le même sens que les problèmes rapportés dans la littérature à propos des annonceurs à liste chronologique (Lees 1983, O'Hara et Brown 1991, Lejon 1995, Stanton 1994) :

- après une perturbation majeure, il est très difficile, voire impossible, pour les opérateurs de connaître l'état actuel du système à partir de la liste chronologique des alarmes, d'où le fait qu'ils ne consultent pas cette liste mais plutôt l'unifilaire des installations, et s'empressent d'éliminer plusieurs signaux d'alarme à l'écran (sans les lire) pour connaître le nouvel état de l'installation.
- il y a un grand nombre d'alarmes à l'écran parmi lesquelles beaucoup ne sont pas pertinentes.

Si on leur demande directement comment améliorer la situation, les attentes des opérateurs eux-mêmes sont plutôt restreintes. Une partie de cette attitude vient très probablement d'une espèce de fatalisme face aux progrès technologiques et la façon dont on les implante dans leur environnement de travail, ainsi que de la difficulté pour eux d'imaginer des solutions. Par exemple, pour la plupart des opérateurs de Beauharnois, les annonceurs sur panneau étaient déjà présents lors de leur entrée en fonction, ils y sont habitués depuis leurs débuts. A part un problème de fiabilité qui empirait avec l'âge, les opérateurs semblent préférer les anciens annonceurs sur panneaux aux nouveaux annonceurs séquentiels, et cela même si, à Beauharnois par exemple, ces anciens annonceurs étaient incohérents entre eux (d'un groupe à l'autre) et peu

détaillés. Le fait de voir l'emplacement de l'alarme sur le synoptique et de se déplacer pour faire le rappel semble leur donner une meilleure "sensation" de l'état de la centrale, comme une intégration plus forte de la situation que la lecture des alarmes sur écran.

Une autre plainte de certains opérateurs face aux nouveaux systèmes d'automatisation est le trop grand nombre d'alarmes peu ou pas utiles pour les même vieux groupes qu'on surveillait auparavant avec au plus 18 points d'alarme, et qui en ont maintenant entre 136 et 186²⁶.

Par ailleurs, les problèmes suivants sont aussi rapportés par les opérateurs :

- les alarmes répétitives (incluant les alarmes dues à l'entretien) accaparent l'attention de l'opérateur et l'espace sur l'écran, le distrayant de sa tâche, et peuvent masquer des alarmes significatives. Souvent l'opérateur n'inhibera pas l'alarme par peur de l'oublier, ou alors parce que c'est assez long de le faire pour un ensemble d'alarmes reliées à un appareil en entretien;
- le bouton "son-hors" permet à l'opérateur d'empêcher le signal sonore pour un temps limité (typiquement 2.5 minutes en installation et 30 minutes au CER). C'est évidemment risqué parce qu'une alarme pertinente arrivant entre temps ne provoquera pas de signal sonore;
- les trop nombreuses alarmes permanentes accaparent l'espace écran et rendent difficile le repérage de ce qui a été vu, et de ce que doit être traité. Même sur un annonceur topographique, ces alarmes représentent un bruit visuel important diminuant l'efficacité du concept de panneau noir (« dark panel »). On voit souvent de nombreuses alarmes permanentes pour un groupe arrêté par exemple;
- en particulier au CER, les opérateurs se plaignent du fait qu'ils doivent, lors d'un événement complexe, faire plusieurs accusé-rappel puis attendre avant que le système affiche la liste des alarmes encore actives. En effet, le système ne permet pas l'accusé-rappel d'une alarme sans qu'elle n'ait été affichée, ne serait-ce qu'une

fraction de seconde, alors qu'en pratique il est manifeste que l'opérateur ne les lit pas s'il y en a plusieurs;

- l'ingénierie reste déficiente pour les raisons suivantes :
 - manque d'information sur la source des alarmes;
 - libellés incohérents ou incompréhensibles, ou mal adaptés à la tâche²⁷ des opérateurs;
 - paramètres de conditionnement mal définis²⁸;
 - difficulté générale de communication des problèmes aux gens chargés de l'ingénierie;
- il n'y a pas d'entraînement régulier aux situations d'urgence.

Si on se place dans le contexte de l'opérateur confronté à une installation comportant un nombre tel de points à surveiller qu'il lui est clairement impossible de le faire activement, on comprend que ce dernier aie besoin d'un dispositif pour surveiller des paramètres et l'avertir lorsque c'est pertinent. L'opérateur souhaite donc être prévenu à temps des anomalies. Et pour bien réagir, il doit pouvoir rapidement comprendre la nouvelle situation, c'est à dire le nouvel état du système, puis l'équipement endommagé ou non fonctionnel. Connaître la cause de l'événement ne nuit pas, et est parfois utile pour aider à comprendre ce qui se passe, mais c'est rarement suffisant à cause de la difficulté de prévoir l'évolution de systèmes aussi complexes et à cause de la manifestation imprévisible de pathogènes latents. Par contre, les multiples alarmes peu

²⁶ Ces chiffres sont représentatifs de centrales automatisées récemment. Par exemple, on retrouve à la centrale de La Tuque de l'ordre de 150 alarmes par groupe, tandis qu'il y en a 160 par groupe à la centrale Laforge-2.

²⁷ Les points d'alarmes et les libellés sont souvent choisis d'un point de vue technique plutôt que du point de vue de l'opérateur, et donc souvent ne contiennent pas l'information souhaitée par les opérateurs. Voici un exemple de libellé illustrant la différence de points de vue : « barre 67 sous-tension ». Pour le technicien, ça veut dire que la tension de la barre est inférieure au seuil minimum acceptable (le relais de sous-tension est activé); alors que pour l'opérateur l'expression « sous-tension » veut dire que la barre est à sa tension d'opération.

²⁸ Ex. : la temporisation est souvent mal définie (trop courte) pour les points affectés par une permutation des services auxiliaires, générant des dizaines d'alarmes inutiles lors des permutations.

ou pas pertinentes nuisent à la performance de l'opérateur, à force de le déranger pour rien.

Par ailleurs, l'ingénieur installant les dispositifs d'automatisation souhaite que toute source potentielle d'anomalie soit rapportée à l'opérateur (mieux vaut en mettre trop que d'en oublier), et ceci d'autant plus qu'il n'est pas coûteux d'ajouter des points. Il utilisera aussi le dispositif d'alarme pour rapporter l'état de points qu'il serait plus lourd de signaler autrement (ex., tel appareil est en mode manuel).

Donc, tout fonctionne raisonnablement bien tant que les alarmes ne sont pas trop nombreuses, mais s'il y a cascade, les annonceurs actuels ne sont pas nécessairement le meilleur moyen de mettre rapidement à jour l'image mentale que l'opérateur se fait de l'installation. C'est particulièrement dans ce cas que le système actuel d'annonciation et de diagnostic montre beaucoup de lacunes.

En général, on peut aussi observer que :

- il y a une proportion importante (probablement de l'ordre de 80%) de cas par cas dans le jugement de la pertinence des alarmes;
- il y a une grande proportion d'alarmes momentanées dans les événements importants.
- des pathogènes latents se manifestent souvent lors des événements complexes;
- il y a beaucoup de particularités et d'idiosyncrasies dans le fonctionnement effectif des appareils.

Les événements complexes demeurent des situations inconfortables pour les opérateurs. En effet, en cas d'alarme signalant une condition qui n'est pas encore critique, comme par exemple une élévation de la température d'un transformateur, l'opérateur cherchera à prévenir une action intempestive du système de protection en intervenant de façon préventive (ex., en réarrangeant la configuration pour éviter une incidence sur

l'exploitation). Ils font donc souvent de la surveillance active pour s'éviter de mauvaises surprises²⁹. Le fait d'intervenir avant que les mécanismes de protection se déclenchent permet à l'opérateur de procéder posément, en bonne connaissance de la situation, plutôt que d'être confronté à une situation urgente, critique et l'obligeant à agir avec des informations incomplètes, donc à prendre des risques.

Mais, le gros de la surveillance demeure passive, et l'opérateur ne peut tout prévenir, et des événements importants surviennent de temps à autre.

Au CER, le comportement typique de l'opérateur face à une série d'alarmes en quelques secondes est le suivant :

- lecture sur la liste d'alarmes ou d'événements du nom de l'installation concernée (sans lire toute la ligne d'alarme);
- accès à l'unifilaire de l'installation;
- accusé et rappel des alarmes sans les lire au préalable;
- lecture des alarmes restantes.

Quand plusieurs alarmes surviennent en quelques secondes, les opérateurs font donc accusé - rappel sans lire au préalable les messages d'alarmes, on assume donc que les opérateurs désirent d'abord connaître l'état.

Un peu comme le secouriste arrivant sur les lieux d'un accident, et qui vérifie d'abord si la victime respire, si son cœur bat, s'il y a saignement abondant (Green 1989), et qui intervient tout de suite au besoin, l'opérateur cherche d'abord à connaître l'état de l'installation, souvent par unité d'exploitation, à savoir s'il y a urgence pour les gens, pour les appareils ou pour préserver la continuité du service.

²⁹ Par ex., un groupe démarré après une réparation fera l'objet d'une surveillance active périodique pendant plusieurs heures. L'attention donnée à cette surveillance est souvent modulée en fonction de la

À Beauharnois, lors d'un événement important, les opérateurs vont d'abord au synoptique (sans prendre le temps de lire les alarmes sur écran), on assume donc que l'événement est donc plus facilement reconnu par patron, et que les opérateurs désirent d'abord connaître l'état de l'installation.

Confronté à des alarmes, l'opérateur de centrale peut avoir à agir rapidement pour protéger les humains ou l'équipement (en particulier les groupes et transformateurs qui peuvent être coûteux et longs à réparer); c'est moins souvent le cas en poste, sauf en cas de présence de gaz (hydrogène) ou de point chaud sur un transformateur, ou dans certains postes comportant des compensateurs synchrones qui sont analogues à des alternateurs. Le plus souvent, l'opérateur cherchera à éviter que la situation ne se détériore encore plus. Dans un deuxième temps, l'opérateur doit compenser ou contourner le problème pour rétablir le service, où sinon demander que ce soit réparé.

Les opérateurs éprouvent de la difficulté à connaître rapidement l'état de l'installation; ils doivent lutter avec l'IHM pour obtenir l'information qu'ils désirent; les opérateurs ne peuvent utiliser que peu ou pas de reconnaissance de patrons, mais doivent plutôt lire seulement, alors que la reconnaissance de patrons est la voie royale pour la compréhension rapide d'une situation complexe par un être humain.

Si on assume que les opérateurs sont avant tout à la recherche de la compréhension de l'état actuel, on se rend compte que plusieurs comportements jugés plus ou moins étranges par les informaticiens sont en fait des moyens découverts par les opérateurs pour comprendre l'état malgré des affichages conçus selon une philosophie différente.

De façon fortuite deux observations sont venues corroborer la conjecture selon laquelle les opérateurs, face à un événement complexe, s'empressent d'essayer de comprendre le nouvel état de l'installation avant de tenter d'établir un diagnostic.

2.3.4.1. Observations lors d'un événement majeur à Beauharnois

Le 8 juillet 1998 vers 15h30 , la perte d'une ligne d'interconnexion avec NYPA (New-York Power Authority) provoqua le déclenchement de 13 groupes à Beauharnois. Rappelons que les deux opérateurs alors en salle de commande disposaient d'un tableau synoptique (panneau métallique semi-circulaire d'environ 12 mètres de large) avec unifilaire, mesures, commandes et annonceurs individuels pour chaque groupe et pour les postes, ainsi que du système automatisé de conduite avec son annonceur en liste chronologique sur écran. L'auteur était alors en salle de commande.

On entendait alors de multiples sonneries, et on voyait de nombreux indicateurs lumineux clignoter sur le synoptique, ainsi que l'annonceur sur écran rempli de messages. Il est alors remarquable de constater qu'aucun des deux opérateurs n'a jeté un coup d'œil à l'écran du système de conduite. Ils n'ont pas non plus regardé les annonceurs de poste (sur panneau) sur lesquels les premières alarmes devaient être signalées. Ils se sont plutôt approchés à environ 2 mètres du synoptique. Au bout d'environ 4 secondes l'un d'entre eux a dit: "On a perdu NYPA". Il précisera plus tard qu'il l'a déduit en se rappelant des groupes aiguillés sur NYPA. Les deux opérateurs se sont ensuite rapprochés du synoptique et ont traité les groupes un à un³⁰, tout en ayant jeté un coup d'œil au panneau des services auxiliaires. Ce n'est que plusieurs minutes plus tard, quand tout a été stabilisé, que les opérateurs sont allés voir les écrans d'annonceurs sur lesquels ils ont immédiatement accusé puis rappelé toutes les alarmes sans les lire au préalable, en se contentant ensuite de lire les alarmes restantes.

2.3.4.2. Tableau d'annonceur au CER

Lors d'une analyse de l'utilisation de la page "tableau d'annonceur" au CER, l'auteur a pu rencontrer un répartiteur³¹ transport qui avait un souvenir clair des pages qu'il utilisait en cas d'événement majeur.

Le rôle de base du répartiteur transport est d'assurer un transit sécuritaire de l'énergie. Après un événement, sa préoccupation première sera de rétablir le service.

Il dispose à cet effet de plusieurs outils, dont la plupart sont des affichages issus du SCADA :

- tableau d'annonceur : semblable aux anciens annonceurs à matrice de lumières sur panneau, mais cette fois-ci sur écran;
- annonceur à liste chronologique, pratiquement identique à la maquette LISTE-CHRONO;
- liste des événements de téléconduite, en fait un historique de tous les événements de conduite;
- schémas unifilaires des installations et du réseau, en général très segmentés;
- logiciel Langage, qui établit automatiquement en temps réel des diagnostics qui font la synthèse de l'opération des automatismes lors d'incidents qui se produisent sur le réseau.

Après un déclenchement important, ce répartiteur transport utilise le tableau d'annonceur (de concert avec l'unifilaire) car il veut savoir l'état de l'installation

³⁰ En deux passes : une première de stabilisation des groupes, puis une seconde pour prendre note des alarmes sur les annonceurs de groupes avant de les rappeler.

³¹ À Hydro-Québec le répartiteur dirige les opérations ; il a une vue d'ensemble et coordonne les actions des opérateurs.

(même si Langage est en marche sur un autre écran). Il utilise ce tableau même s'il doit consulter un cartable papier pour les descriptions détaillées des alarmes. Il utilise plutôt Langage pour les petits événements.

Le fait qu'un répartiteur transport utilise l'unifilaire et le tableau d'annonceur pour comprendre rapidement l'état de l'installation après un événement complexe (alors qu'il dispose du diagnostic détaillé par Langage) va dans le sens de la conjecture de ce mémoire, c'est à dire qu'il cherche d'abord à avoir une vue d'ensemble de l'état plutôt que de tenter un diagnostic. Avec le tableau d'annonceur, il infère le déroulement selon l'ordre des protections dont il connaît la logique. Il est aussi intéressant de noter que plusieurs opérateurs apprécient la vue regroupée de tous les points d'alarme d'un appareil qu'on obtient sur le tableau d'annonceur.

Selon nos observations, l'opérateur peut se satisfaire de la connaissance de l'état d'un seul (ou quelques) sous-systèmes pour commencer à agir, et l'exécution peut facilement bifurquer, avec des buts intermédiaires sujets à réévaluation. En gros, les trois premières étapes de la taxonomie de Pew (1980), évoquée plus haut (section 2.2.2), correspondent aux observations de la présente étude, avec l'accent sur l'information qui permet de comprendre rapidement l'état du processus.

2.3.5. Questions de conception

En surveillance, le cas le plus critique est l'occurrence d'un événement complexe, et c'est là que le besoin le plus criant d'amélioration se manifeste. La masse d'informations difficiles à décoder est en effet reconnue comme un problème majeur des annonceurs modernes. C'est souvent moins grave en hydroélectrique mais ça reste quand même très évident. Un événement complexe imprévu est le cas le plus patent où la complexité de l'information présentée à l'opérateur et son format de présentation mal adapté peuvent

dépasser les capacités de l'humain à porter son attention, percevoir, se rappeler, décider et agir, c.-à-d. à traiter l'information (Wickens 1992). Le système d'alarme contient une partie importante de l'information nécessaire à ce moment-là. Il est par contre très difficile de rendre cette information disponible de façon efficace pour l'opérateur.

On n'a pas trouvé de solutions à ces problèmes parmi les systèmes offerts sur le marché. Par ailleurs, l'étude de l'état de la recherche n'a pas permis de faire ressortir de solution claire au problème.

L'annonceur en liste chronologique donne une sensation d'illisibilité et d'impossibilité de déduire vite ce qui se passe. Alors comment le rendre utile et efficace à ces moments-là? Une meilleure représentation pourrait éviter beaucoup de dommages dans certains cas, aider à maintenir l'expertise, et éviter le recours à des solutions plus coûteuses.

Les technologies d'affichage ont beaucoup évolué. Il vaut donc la peine de concevoir de nouvelles solutions privilégiant la présentation de l'état actuel de l'installation.

On s'est donc posé la question de conception suivante :

À l'intérieur des contraintes suivantes :

- en restant dans le cadre de l'IHM définie lors du projet R&D,
- dans les centrales hydroélectriques,
- avec les moyens technologiques actuels sur écran,
- par la représentation, sans logiciel complexe de filtrage,

Peut-on :

- améliorer la performance (temps de réaction et taux d'erreur) de l'opérateur face à des événements complexes,
- rendre le système d'alarme moins lourd à gérer et plus utile (voir la fin de la section 2.3.7.2 pour une comparaison),
- augmenter la proportion d'alarmes pertinentes (voir la fin de la section 2.3.7.2 pour une comparaison) et améliorer la détection des alarmes noyées ?

Peut-on faire ceci tout en concourant à maintenir l'expertise de l'opérateur? Finalement, le design doit non seulement accommoder l'exploitation mais aussi faire des demandes réalistes à l'ingénierie initiale, de mise en route et d'entretien.

Les essais d'utilisabilité menés sur l'IHM globale de conduite ont montré la pertinence d'afficher en permanence l'unifilaire et l'utilité d'une fenêtre d'alarmes en liste chronologique. Alors en pratique peut-on déterminer :

- s'il est préférable d'ajouter les alarmes à l'unifilaire;**
- si cela est suffisant pour les cas complexes;**
- si une présentation avec liste donnant l'état actuel plutôt que la chronologie stricte répond aux besoins habituels de conduite et peut aider dans les cas complexes. Il faut noter que l'unifilaire ne sera pas disponible à l'avance au CER, ce qui rend une fenêtre d'alarmes en liste indispensable dans plusieurs cas.**

Ce qui revient aussi à dire : peut-on donner la primauté au support de la compréhension de l'état au dépens de la séquence des événements de conduite, et ceci dans deux cas : l'annonceur intégré à l'unifilaire, et l'annonceur à liste avec état actuel ?

2.3.6. Design de l'interface d'annonciation des alarmes

On peut subdiviser la tâche de surveillance en quatre sous-tâches, que toute solution d'IHM doit permettre de réaliser (voir le tableau 2.1 si dessous).

Tableau 2.1 : Sous-tâches de la tâche de surveillance

Sous-tâche	Support sur IHM
Surveillance en état stable	Aides à la détection et alarmes détaillées, alarmes/états/mesures topographiques, aides à la connaissance de l'état et des travaux en cours, mesures avec tendance
Surveillance lors de transitions	Suivi du déroulement et détection d'anomalies, mesures avec tendances, représentations fonctionnelles
Réaction en cas d'avalanche d'événements, évaluation rapide de la situation, pour sauvegarde	Alarmes/états topographiques, support à la progression du traitement de la situation
Diagnostic après une avalanche d'événements, pour compensation	Liste chronologiques des alarmes/états/mesures/actions/événements-de-conduite et représentations fonctionnelles, topographiques et géographiques

Traditionnellement, la conception de l'imagerie sur écran s'est faite selon les fonctions du système d'automatisation, en utilisant une série de pages par fonction. On peut aussi faire la conception d'imagerie en se basant sur l'analyse de tâche et en concevant une suite de pages pour chaque tâche. Les essais d'utilisabilité nous ont convaincu qu'on peut partir de l'analyse de tâche et concevoir une imagerie de base supportant simultanément toutes les tâches de conduite en temps réel de première ligne incluant la surveillance, mais pas le diagnostic qui peut se faire en différé.

Dans cette étude, on a combiné les besoins d'information de plusieurs tâches de conduite et de surveillance pour concevoir un affichage unique. On a en effet considéré que ces

tâches se déroulent simultanément (ex., manoeuvre et surveillance) ou encore en va-et-vient rapide.

On a cherché un mode de présentation permettant une mise à jour rapide et exacte du modèle mental et/ou une bonne reconnaissance de patrons³². Les solutions d'IHM visaient une meilleure réponse aux événements complexes tout en répondant bien aux autres aspects de la surveillance (ce dernier aspect restant en dehors de cette étude) en synergie avec les autres canaux d'information, c.-à-d. en contribuant efficacement à la compréhension par l'opérateur de l'état du processus.

Pour une compréhension immédiate d'événements complexes, tout en supportant la gestion d'événement, les éléments suivants doivent concourir à obtenir une solution améliorée³³ :

- toute l'information nécessaire doit être présente à la fois lors de l'événement, car les aspects "action située"³⁴ et "évaluation de la situation" doivent être bien supportés; l'état actuel des points doit être immédiatement visible;
- la présentation topographique aide au moins dans certaines situations;
- la présentation en liste doit être améliorée :
 - ça peut se faire sans filtres automatiques sophistiqués;
 - l'aspect historique peut être isolé de l'aspect annonciateur (en première ligne).

2.3.7. Solutions retenues

Pour aborder la conception d'un annonciateur, deux voies non exclusives l'une de l'autre s'offrent au concepteur : le filtrage des alarmes pour réduire le nombre d'alarmes non

³² On ne cherche pas comme tel à réduire la charge mentale; par contre une meilleure présentation pourrait peut-être permettre à un opérateur d'en couvrir plus large.

³³ Les alarmes survenant de façon isolée ne posent pas vraiment problème sur un annonciateur à liste si elles sont bien libellées, sauf pour ce qui est de l'absence de rappel visuel d'alarme active sur le schéma unifilaire.

pertinentes et l'amélioration du mode de présentation des alarmes restantes (voir la Figure 2.5).



Figure 2.5 : Filtrage des alarmes

2.3.7.1. Filtrage des alarmes

Le filtrage des alarmes vise à augmenter la proportion d'alarmes pertinentes, donc par le fait même, à limiter le nombre total d'alarmes. Campbell Brown (1999) insiste beaucoup (et à raison) sur l'importance de l'ingénierie bien faite et la mise en place de filtres appropriés, mais ne donne aucune indication sur la présentation des alarmes.

Par ailleurs, le filtrage intelligent par le système est une voie semée d'embûches. La mise en place et le maintien d'un mécanisme intelligent de filtrage des alarmes sont difficiles en pratique³⁵. Le paramétrage sophistiqué est difficile à maintenir à jour, et limite la visibilité et l'expertise. Par exemple, on isole ainsi l'opérateur de l'état réel des points d'alarme, donc l'état réel du processus est moins visible; en particulier, certains opérateurs se servent d'alarmes non conditionnées³⁶ comme rétroaction du déroulement normal de certaines manœuvres. Le filtrage de ces alarmes peut amener une diminution d'expertise de l'opérateur qui le rend moins apte à réagir correctement dans des situations non anticipées. Par ailleurs, il est difficile d'être sûr que l'information filtrée ne sera jamais utile dans aucune situation de conduite, par exemple les situations liées à des erreurs de maintenance ou à la manifestation de pathogènes latents. Le traitement au

³⁴ Détermination de l'action par différentes variables situationnelles.

³⁵ L'ingénierie se heurte en particulier au problème des changements fréquents dans les installations, ainsi qu'aux changements continus des conditions d'opération dus à la maintenance, aux erreurs de maintenance et aux pannes.

³⁶ L'alarme n'est pas signalée lorsque le processus est dans un état où cette alarme est triviale.

cas par cas par les opérateurs d'une bonne proportion (probablement de l'ordre de 80%) des alarmes ajoute une difficulté supplémentaire à l'adaptation de filtres intelligents. Par ailleurs, si un logiciel comme Langage (logiciel de diagnostic en temps réel) est probablement utile en diagnostic, son utilité en première ligne est douteuse en regard de la conjecture de cette étude.

Bransby (1998) indique que le taux maximum auquel un opérateur peut lire et comprendre des alarmes est de 20 alarmes à la minute. Toute réduction du nombre de messages, ou l'existence de repères de lecture (voir la section 2.3.7.2) permettant de choisir les messages à lire sont les bienvenus en cas d'événement générant beaucoup de messages d'alarmes. Il demeure donc avantageux de limiter autant que possible la proportion d'alarmes non pertinentes³⁷, alors les maquettes ont été munies de filtres simples contrôlés par l'opérateur de façon ad hoc. Ces filtres sont beaucoup plus simples à mettre en œuvre que les filtres intelligents, et ne demandent pas d'entretien, on s'attend donc à un meilleur rendement sur l'effort consenti à la réalisation.

³⁷ Il y a un grand nombre de sources d'alarme, souvent pour appareillage, etc.. C'est en bonne partie dû à la difficulté en pratique de prendre la responsabilité de ne pas brancher une source d'alarme. Par exemple, il y a à Beauharnois Est plus de 16 000 sources d'alarmes.

Pour toute alarme sur l'annonciateur, l'opérateur peut demander l'application d'un des filtres suivants :

- | | |
|------------------------------|---|
| Classer permanente : | <ul style="list-style-type: none"> • le message d'alarme est enlevé de l'annonciateur, et va dans une liste distincte (le pictogramme demeure affiché sur l'unifilaire (TOPO), mais de façon très discrète). |
| Classer rappel-son auto : | <ul style="list-style-type: none"> • pas de son sur l'arrivée de cette alarme. |
| Classer accusé-rappel auto : | <ul style="list-style-type: none"> • pas de son sur l'arrivée de cette alarme, accusé et rappel automatiques de cette alarme. |
| Classer inhibée : | <ul style="list-style-type: none"> • inhibition complète des messages venant de ce point d'alarme. Il n'y a ni son ni affichage. |
| Spécifier temporisation : | <ul style="list-style-type: none"> • spécifie une durée minimale avant que l'alarme ne soit signalée. |

Aussi, l'opérateur peut inhiber toutes les alarmes d'un appareil sur le schéma unifilaire en une seule opération. Sur l'unifilaire, un codage spécifique rappelle à l'opérateur que des alarmes sont inhibées sur un appareil donné. Un filtre sur une source d'alarme donnée ne reste actif que pour une durée limitée, à moins d'indication contraire par l'opérateur.

Ce type de filtre pourrait s'inscrire dans la philosophie de "conception pour l'adaptation", où l'utilisateur complète le design (Vicente 1999). L'observation a montré que le jugement de pertinence des alarmes par les opérateurs est très lié à l'historique récent et à la situation actuelle.

Enfin, pour les périodes très actives, l'opérateur dispose des boutons "rappel-son automatique" pour désactiver l'alarme sonore et "accusé-rappel automatique" pour éviter d'avoir à faire l'accusé et le rappel. Ces modes restent en fonction pour toutes les

alarmes qui surviennent jusqu'à ce que l'opérateur décide de revenir au mode normal d'opération.

2.3.7.2. Présentation des alarmes

Deux nouveaux modes de présentation des alarmes sur écran sont donc proposés afin d'améliorer la qualité, tout en maintenant ou en améliorant la vitesse de la prise de décision de l'opérateur lors d'événements complexes. Ce dernier doit avoir une compréhension exacte et aussi exhaustive que possible de l'état de l'installation pour prendre une bonne décision (Endsley 1995, Lees 1983, Woods 1995). De plus, l'opérateur cherche si possible de l'information redondante avant de prendre une décision (Lees 1983). Mattiasson (1999) fait ressortir que les besoins d'information de l'opérateur sont fort différents selon que le système soit en condition normale ou perturbée. Par contre, les types d'informations utiles en condition perturbée doivent être présents en permanence pour être disponibles au moment opportun; la présentation gagne aussi à ne pas changer, de façon à ce que l'opérateur, très familier avec la présentation, puisse analyser rapidement l'information.

On a vu plus haut deux choix de conception de base pour l'annonciation :

- un affichage pour chaque tâche;
- un seul affichage car l'affichage d'annonciation lors d'un événement important doit être déjà présent et très familier à l'opérateur.

On a opté pour un affichage optimisé pour les événements importants (le cas difficile) tout en supportant de façon acceptable la situation habituelle.

Dans les premiers instants suivant un événement complexe, l'opérateur doit décider s'il doit entreprendre des actions de sauvegarde; ce n'est que plus tard, quand la situation est stabilisée, qu'il pourra entreprendre des actions de compensation ou de

rétablissement de la mission. Il fera alors un diagnostic avant la remise en service ou pour déterminer quel type de réparation demander.

En même temps que la compréhension et la gestion d'événement, l'annonceur doit aussi permettre la gestion des anomalies et la gestion des messages d'alarme (donc de l'interface). Ces derniers aspects sont traités dans le même esprit que les annonceurs à liste existants. La signalisation des déclenchements et du caractère douteux d'une information est déjà faite sur l'unifilaire.

Voici une description et une illustration des deux nouveaux modes de présentation proposés:

LISTE-ÉTAT Annonceur à liste donnant l'état actuel des points (Figure 2.6): chaque apparition d'une nouvelle alarme est signalée par une nouvelle ligne de texte qui s'affiche dans un ordre chronologique à l'écran. Cependant, à la différence des annonceurs à liste chronologique, la disparition de l'alarme (ainsi qu'une apparition subséquente) est signalée par la modification du texte d'annonce de l'apparition, qui indique maintenant un retour du point à la normale. Les disparitions et apparitions subséquentes ne sont donc pas indiquées de façon chronologique. Cette logique d'affichage a comme effet secondaire de diminuer d'au moins la moitié (plus en fait dans le cas des alarmes répétitives) le nombre de messages d'alarme sur l'écran, tout en fournissant une distinction entre les alarmes encore actives et celles revenues à la normale, donc ne demandant probablement pas autant d'attention de l'opérateur. On s'attend à ce que ces deux aspects puissent contribuer à limiter la saturation de l'opérateur par un grand nombre d'alarmes. En particulier, lors d'événements importants, une forte proportion des alarmes sont momentanées. Un schéma général très simplifié de l'installation (appelé "schéma résumé" dans le reste de l'étude) complète cette présentation en donnant l'état d'alarme par sous-système important (en haut à gauche de

la Figure 2.6)³⁸. Pour éviter qu'une alarme majeure parmi d'autres alarmes ne soit pas vue, on a ajouté des repères dans la liste et gardé un codage évident pour les alarmes majeures actives même si accusées. Si on filtre mieux et que l'opérateur n'est pas aussi prompt à faire accusé-rappel, ce dernier a plus de chance de voir ce genre d'alarme isolée.

Cet annonceur est nécessaire lorsque l'unifilaire n'est pas disponible ou n'est pas affiché en permanence (dans le cas d'un pupitre de conduite couvrant plusieurs installations). Il peut aussi être utilisé dans des conditions normales de conduite, de façon parallèle avec la présentation topographique.

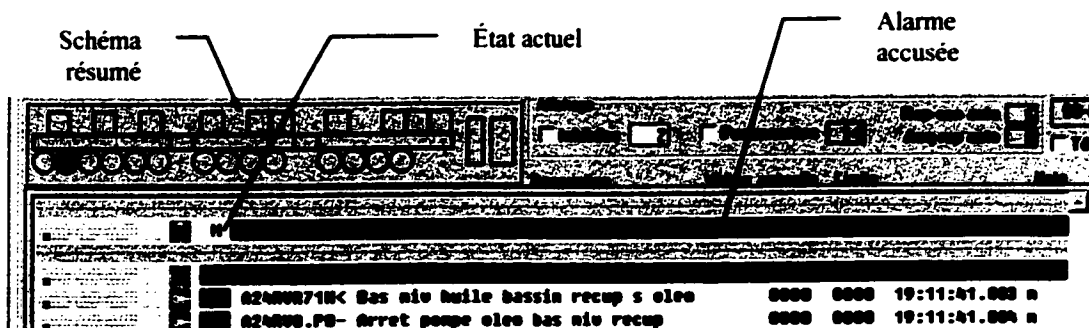


Figure 2.6 : Annonceur à liste donnant l'état actuel des points

³⁸ Chaque point du schéma résumé représente l'état actuel, et non pas l'état d'accusé, ni la chronologie.

TOPO Annonciateur topographique (Figure 2.7): l'apparition d'une alarme est signalée par l'apparition d'un pictogramme à proximité du point concerné sur le schéma unifilaire. La couleur de l'encadrement du pictogramme donne l'état de l'alarme. L'annonciateur est donc intégré à la représentation du processus (le schéma unifilaire). Ce mode de présentation peut provoquer un regroupement serré des alarmes lorsque plusieurs sources d'alarmes sont représentées au même endroit à l'écran. Le texte explicatif de l'alarme est disponible sur demande de l'opérateur. Ce mode de présentation des alarmes diffère beaucoup des modes de présentation sous forme de listes de messages, car on abandonne la présentation de type liste distincte pour choisir une représentation intégrée de l'état de l'installation.

Pictogramme
et état actuel

On en arrive donc aux solutions suivantes :

Pour supporter la gestion et la perception de l'état : LISTE-ÉTAT (et TOPOgraphique)

Pour supporter la reconnaissance de patrons et la compréhension par sous-système : TOPOgraphique intégré et le schéma résumé de LISTE-ÉTAT

Pour supporter la gestion des conséquences de l'événement (diagnostic) : schéma unifilaire et historique des événements de conduite; un logiciel d'aide au diagnostic comme Langage peut être utile à cette étape.

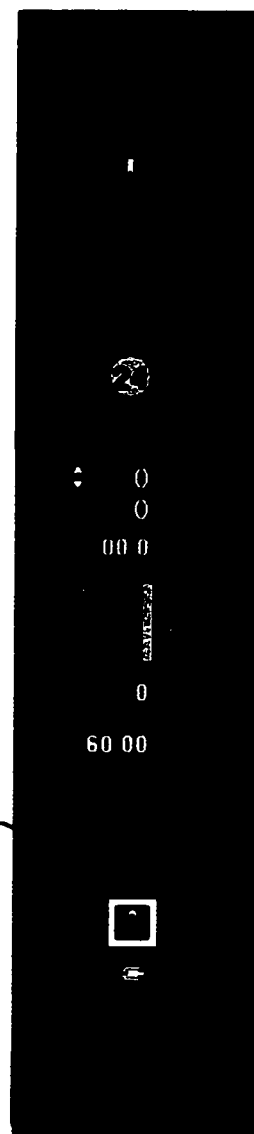


Figure 2.7 :
Annonciateur
topographique

À titre d'exemple des effets que peuvent entraîner ces divers types de présentation, voici une comparaison du nombre de messages sur les trois types d'annonceurs pour un événement complexe (le scénario numéro 2 présenté au chapitre 3) :

- annonceur à liste chronologique (LISTE-CHRONO) : 67 lignes
- LISTE-ÉTAT : 29 lignes
- TOPO : 21 pictogrammes

Par ailleurs, deux caractéristiques des nouvelles maquettes qui sont indépendantes du mode de présentation (et qui donc pourraient être utilisées avec un annonceur à liste chronologique) permettraient de réduire encore plus le nombre de messages :

- les alarmes permanentes présentes avant l'événement auraient pu être déplacées vers une autre liste par l'opérateur, ce qui libérerait typiquement plusieurs lignes en haut des listes;
- les autres filtres configurés par l'opérateur, en particulier le filtre de temporisation, enlèveraient une partie importantes des alarmes momentanées. Par exemple, en appliquant des temporisations de 1 à 40 secondes sur 17 des points d'alarme, il y aurait 42 messages de moins sur LISTE-CHRONO et 17 messages de moins sur LISTE-ÉTAT, ce qui laisserait 25 messages sur LISTE-CHRONO et 12 messages sur LISTE-ÉTAT.

2.4. Conclusion

Selon la littérature et les observations :

- il y a un problème avec les annonceurs, et on n'a pas encore de solution adéquate;
- les solutions basées sur un traitement sophistiqué des alarmes se sont révélées difficiles à mettre en œuvre;
- lors d'un événement important, l'opérateur cherche d'abord à comprendre le nouvel état de l'installation.

Les principes de conception des annonceurs actuels ne répondent pas à ce dernier besoin. On a donc conçu de nouveaux modes de présentation en utilisant les possibilités offertes par les interfaces graphiques.

Ce premier volet de l'étude a permis la conception de solutions qui promettent des améliorations par rapport à l'existant. Mais, d'une part, les essais d'utilisabilité des solutions envisagées sont restés à un niveau trop superficiel pour être concluants. Les essais étaient statiques³⁹, et les opérateurs disaient ne pas se sentir assez en situation pour critiquer efficacement l'interface. D'autre part, avant de s'écarter de façon aussi radicale du mode de présentation actuel, il importe de s'assurer de l'efficacité des nouveaux modes de présentation. En effet, même si le design actuel des annonceurs est encore engoncé dans des paradigmes⁴⁰ dont les justifications ne sont guère prouvées, ces annonceurs fonctionnent et sont en usage généralisé depuis plus de 20 ans.

On a donc besoin d'un test comparatif dont les résultats soient applicables directement à la décision de changer ou non les modes de présentation des alarmes.

³⁹ C'est à dire que la maquette utilisée présentait une image statique. Il n'y survenait pas des messages d'alarme comme dans la réalité.

En somme, face à l'incertitude laissée par les tests d'utilisabilité et la littérature sur le sujet, on a considéré qu'on devait mener nos propres tests pour juger du risque et de la pertinence d'implanter de nouveaux modes de présentation des alarmes.

Ces tests constituent le deuxième volet de cette étude, au chapitre suivant.

⁴⁰ L'activité est perçue comme étant du diagnostic, on force l'opérateur à lire avant de pouvoir accuser les messages d'alarmes, on montre sur des lignes distinctes les messages d'apparition et disparition des alarmes, etc.

CHAPITRE 3 : COMPARAISON DES ANNONCIATEURS

Ce chapitre décrit l'expérimentation que l'on a faite pour comparer les modes de présentations des alarmes, présente les résultats, puis discute de ces résultats.

Mais avant d'y aborder l'expérimentation proprement dite, on y passe en revue la littérature sur des essais comparatifs d'annonceur, et on définit les objectifs de ce volet de l'étude.

3.1. Revue de la littérature sur la comparaison d'annonceurs

On n'a pas trouvé dans la littérature de tests d'annonceurs en situation complète avec des experts, ni portant sur des processus électriques et hydroélectriques. On n'a pas trouvé non plus de test avec un annonceur étroitement lié à la structure du processus.

En fait, on ne trouve pas dans la littérature récente sur le sujet d'article comparant diverses présentations des alarmes. Dans toute la littérature sur le sujet, on ne trouve qu'un article faisant la comparaison de modes de présentation des alarmes, celui publié par H. Kragt en 1984. Kragt a comparé la performance (temps de réaction et erreurs) et l'évaluation qualitative des participants face à trois modes de présentation des alarmes. La comparaison a porté sur un annonceur en tableau sur panneau, un annonceur en tableau sur écran et un annonceur chronologique à accès séquentiel⁴¹ sur écran.

Le but de Kragt était d'investiguer les effets de la présentation de l'information sur la performance des opérateurs et leur perception de la difficulté de la tâche.

Les tests effectués ont porté sur 24 opérateurs en formation, non familiers avec le système présenté, après une période d'entraînement de 4 heures. Il s'agissait de tests dynamiques avec un processus simple de contrôle de flots et de réservoirs. Il y avait 33

points d'alarme en trois sections de 11; 6 points étaient reliés au processus, les 27 autres étant simplement là pour donner de la charge de travail aux opérateurs.

Trois annonceurs ont été testés :

- FS (conventional facia system) : 33 voyants et boutons d'accusé sur un panneau;
- FP (facia picture) : 33 rectangles sur un écran, avec accusé par code sur clavier (par exemple « A 2 3 retour-de-chariot » pour accuser l'alarme 23);
- Text (text system) : liste chronologique de messages sur écran. Pour faire l'accusé, l'opérateur devait d'abord entrer une commande au clavier pour aller vers un tableau de section (par exemple « I retour-de-chariot » pour aller à la section « I »), puis faire l'accusé par code sur clavier, comme pour l'annonceur FP.

On demandait aux opérateurs d'effectuer des tâches associées aux alarmes, d'autres tâches non reliées aux alarmes, et une tâche de contrôle non reliée aux alarmes.

Chaque séance durait 40 minutes. On y présentait 38 signaux, soit espacés de façon égale dans le temps, soit groupés en deux périodes de temps de 9 et 11 minutes.

Chaque opérateur a fait trois séances avec la même distribution de signaux, une sur chaque type d'annonceur. La performance a été mesurée sur la première séance, tandis que l'appréciation a été évaluée sur les trois séances.

La présentation séquentielle s'est montrée inférieure à la présentation simultanée de l'information pour les deux aspects. Selon Kragt, la présentation simultanée est nécessaire pour les tâches où des décisions doivent être prises rapidement. Il en déduit que la tâche et l'état du processus déterminent de quelle façon l'information doit être présentée, et donc que l'utilisation d'un seul type de présentation des alarmes doit être évité. Il considère qu'on doit analyser les besoins de présentation de l'information pour chaque tâche et état du processus. Selon lui les nouveaux systèmes doivent être évalués de façon comparative en utilisant des mesures de performance et l'évaluation des

⁴¹ L'opérateur devait naviguer vers la page pertinente pour visualiser et accuser l'alarme.

opérateurs. Il recommande que des experts soient impliqués dans l'évaluation de nouveaux systèmes.

Il y a par ailleurs plusieurs articles récents qui décrivent des interfaces d'annonciation dont certains aspects sont semblables aux annonceurs testés dans la présente étude. Dickens (1998) utilise un synoptique visible en permanence et donnant aussi les indications d'alarme avec clignotement. Il utilise aussi un annonceur à liste qu'on peut faire fonctionner par messages chronologiques ou par état, les opérateurs étant divisés dans leur appréciation de ces deux modes de présentation. Broadhead et Earnshaw (1998) ont implanté un annonceur à liste avec état actuel, sans faire état dans l'article des résultats de l'implantation. Mais ces articles restent descriptifs, sans essais comparatifs.

3.2. Problématique

Nous désirons des essais dont les résultats sont applicables le plus directement possible à la décision d'adopter ou non les nouveaux modes de présentation des alarmes.

Or, plusieurs aspects de l'étude de Kragt en rendent l'interprétation difficile pour la réponse d'un expert à un événement complexe:

- tandis que l'accusé des alarmes se faisait par des boutons individuels pour l'annonceur sur panneau, l'accusé se faisait par un code sur clavier pour l'annonceur en tableau sur écran et par un code sur clavier à partir d'une autre page pour l'annonceur en liste;
- les sujets étaient des opérateurs novices mis dans une situation artificielle. Ils n'étaient familiers ni avec le processus simulé, ni avec les annonceurs utilisés, ni avec la tâche qu'on leur demandait d'exécuter;
- on n'a utilisé que des alarmes simples arrivant à des rythmes divers;

- le processus était très simple : 33 points d'alarmes dont 6 seulement pertinents au processus;
- l'imagerie utilisée est très limitée en regard de ce qu'on peut faire aujourd'hui.

Les utilisateurs experts ne se sentent pas à l'aise pour commenter une maquette statique d'annonceur. Les essais statiques ne sont donc pas concluants, en particulier pour les événements complexes, ce qui implique que les essais doivent être dynamiques, c.-à-d. avec des alarmes arrivant en temps réel sur l'interface;

L'IHM de conduite d'installation est conçue pour des experts, elle doit être testée avec des experts dans un contexte leur permettant de fonctionner en utilisant leur expertise et leurs stratégies. Les stratégies des novices sont vraisemblablement différentes (Dreyfus & Dreyfus 1986), et peuvent donc mener à des conclusions erronées. On ne peut pas non plus espérer un transfert de l'expertise des experts dans un nouvel environnement en si peu de temps, donc les essais doivent reproduire autant que possible l'environnement dynamique complet avec lequel les opérateurs sont familiers.

L'expérience doit être ouverte pour des experts en situation complexe. Le domaine se révèle trop touffu pour être réduit à quelques éléments mesurables directement.

On a donc conçu les tests comme montré au tableau suivant :

Tableau 3.1 : Caractéristiques des tests comparatifs

Kragt	Cette étude
dynamique	dynamique
novices (opérateurs en formation)	experts (minimum 10 ans)
connaissent peu l'installation (4 heures)	connaissent l'installation (minimum 5 ans)
environnement artificiel simple	environnement réaliste complexe
33 points d'alarme, dont 6 reliés au processus	plus de 8000 points d'alarme, pratiquement tous reliés au processus
événements simples (pas de cascades)	événements complexes
laboratoire	environnement quasi-naturel
manipulation différente (et particulièrement pour le chronologique)	manipulation quasi identique
2 scénarios (variant en taux d'arrivée des alarmes); un opérateur donné ne voit qu'un des deux scénarios	6 scénarios vus par chacun des opérateurs.
contrôlé	partiellement ouvert (d'observation, puis d'analyse d'observation)
<activation de boutons>	<verbalisations>
bon nombre de sujets (24)	petit nombre de sujets (9)
grand nombre de tests (24 x 3)	petit nombre de tests (9 x 1)
peut recommencer facilement	difficile à recommencer (beaucoup de travail et de temps), et la difficulté de trouver un groupe adéquat d'opérateurs

3.2.1. Objectif

L'objectif de ce volet de l'étude est de donc comparer trois modes de présentation des alarmes afin d'orienter la conception d'annonceurs d'alarmes.

L'expérimentation teste l'efficacité de ces trois modes de présentation des alarmes dans une centrale de production hydroélectrique en termes de vitesse et d'exactitude de compréhension lors d'un événement complexe, puis de la satisfaction ressentie par les opérateurs à l'égard de chaque mode de présentation.

En complément, la présente étude peut apporter un point de vue différent et nouveau sur le sujet des alarmes par une expérience réalisée dans le milieu, sur un sujet riche et complexe, avec des experts. Des tests avec de nouveaux modes de présentation permettent aussi de jeter un peu de lumière sur les mécanismes cognitifs.

3.2.2. Hypothèses

On fait l'hypothèse que l'annonceur topographique (TOPO) sera le meilleur sur le plan de la compréhension rapide d'un événement complexe par l'opérateur car les résultats de l'observation de l'utilisation des annonceurs à liste chronologique, des analyses de tâche et des essais d'utilisabilité avec les opérateurs suggèrent de présenter l'état plutôt que la chronologie, et de préférence de façon intégrée à la représentation du processus. Cet annonceur donne la vue d'ensemble au premier coup d'œil, et le détail sur demande.

Dans les cas où le schéma unifilaire n'est pas disponible, on fait l'hypothèse que l'annonceur à liste donnant l'état actuel sera préférable à l'annonceur à liste chronologique sur le plan de la compréhension rapide d'un événement complexe par l'opérateur.

La section suivante présente l'expérimentation faite pour comparer ces deux annonceurs et l'annonceur à liste chronologique.

3.3. Méthodologie

Cette section présente la tâche, les sujets, et la méthodologie des essais.

3.3.1. Tâche

Dans sa tâche de surveillance, l'opérateur cherche à protéger les équipements et maintenir le processus (en fait d'abord protéger les êtres humains mais c'est rarement le cas). Il doit comprendre rapidement, au besoin agir immédiatement, puis gérer l'événement et ses conséquences. Les essais portent sur un sous-ensemble de cette tâche de surveillance, la réaction initiale à un événement provoquant plusieurs alarmes en peu de temps alors que l'opérateur n'est pas activement impliqué dans une manœuvre.

Lors d'une perturbation importante du système, l'opérateur doit rapidement prendre connaissance de la situation par l'intermédiaire des alarmes affichées à l'écran et de l'unifilaire de l'installation afin de pouvoir décider si une action s'impose. Ainsi, durant la séance expérimentale, on a reproduit neuf suites d'événements différentes (scénarios) et les alarmes qui leur étaient associées. Les événements choisis sont typiques de ceux que les opérateurs rencontrent dans une centrale, de l'avis de l'opérateur-expert qui nous a aidés à les construire. Ils correspondent à divers niveaux de complexité, et couvrent assez bien la diversité des types d'événements complexes possibles. Les scénarios sont décrits à la section suivante.

Chaque événement est d'abord signalé par le signal sonore de l'annonceur et des indications visuelles sur celui-ci. Souvent des alarmes subséquentes continuent à survenir pendant quelques secondes ou dizaines de secondes. L'opérateur peut « rappeler » le son et effectuer une surveillance active tout en utilisant au besoin les touches de contrôle de l'annonceur. Le test pour un scénario donné s'arrête lors du

choix par l'opérateur de la première action de conduite c.-à-d. par exemple une manœuvre, un appel téléphonique, l'envoi du second sur place, ou simplement la décision de ne rien faire tout de suite. Normalement, il comprend alors assez la situation (ou du moins il juge la comprendre suffisamment) pour décider de la première action à prendre. L'essai s'arrête ici car la simulation complète est extrêmement complexe à réaliser et apporterait peu d'information supplémentaire pour la conception de l'IHM de première ligne.

3.3.2. Événements simulés

Des fichiers d'essais contenant les alarmes ainsi que l'état des appareils (dédit par l'opérateur expert selon les imprimés et son expérience) ont été produits pour générer les scénarios. Lors des essais, l'état du processus ainsi que l'arrivée des alarmes et autres événements de conduite (changements de mesures et états par exemple) sont déterminés par le contenu de ces fichiers qui sont lus par le programme Visual Basic générant l'imagerie.

Les scénarios ont été constitués à partir d'événements réels passés. On peut reconstituer ces événements car tous les événements de conduite sont imprimés au fur et à mesure et on conserve systématiquement ces enregistrements. Des scénarios pertinents et représentatifs ont été choisis, et au besoin complétés, avec l'aide d'un opérateur chevronné ne participant pas aux essais.

Les événements testés couvrent les cas suivants :

- déclenchement de groupe pour cause interne au groupe;
- déclenchement de plusieurs groupes dus à :
 - déclenchement de ligne;
 - déclenchement de barre (plusieurs disjoncteurs de ligne déclenchés);
- perte de services auxiliaires (donc sans déclenchement de disjoncteur de ligne).

On retrouve dans les séquences d'entraînement et d'essai des alarmes isolées et répétitives pour vérifier s'il n'y a pas détérioration de la performance dans ces cas. On a par exemple inclus un cas d'alarme isolée sur un appareil pendant des essais sur un autre appareil (ce qui génère souvent de nombreuses alarmes).

Les paragraphes suivants décrivent les scénarios utilisés. On y donne aussi, pour chaque scénario testé, les éléments clefs pour une prise de conscience complète de la situation par l'opérateur. L'identification finale de ces éléments, bien qu'en bonne partie prévisible avant les tests, a été effectuée après l'expérience, à partir des verbalisations des opérateurs.

Trois scénarios ont été utilisés pour la phase d'explication et de réchauffement :

Scénario P1 : alarmes mineures diverses

- entraînement en situation normale (plusieurs petits événements);
- 6 alarmes, durée de 26 secondes.

Scénario P2 : déclenchement et arrêt de groupe (un événement et sa suite normale)

- entraînement pour événement important simple;
- 10 alarmes, durée de 2 minutes 20 secondes.

Scénario P3 : haute température de transformateur et déclenchement d'un groupe, beaucoup d'alarmes de transformateur (un événement et sa suite, mais complexe)

- entraînement pour situation plus complexe;
- 50 alarmes, durée de 6 minutes.

Trois scénarios ont été utilisés pour la phase d'essais avec l'unifilaire affiché :

Scénario 1 : déclenchement par protection d'un jeu de barres affectant 4 groupes et 2 lignes

- essai pour événement relativement important (à la limite);

- 13 alarmes, durée de 60 secondes;
- éléments clefs de la situation :
 - barre : déclenchement des 2 barres;
 - ligne : 2 lignes déclenchées;
 - groupe : 4 groupes déclenchés, en vitesse sans charge;
 - sa : permutation des services auxiliaires.

Scénario 2 : déclenchement par protection de 2 lignes affectant 9 groupes

- essai pour événement très important;
- 90 alarmes, durée de 2 minutes 20 secondes;
- éléments clefs de la situation :
 - NYPA : perte de NYPA;
 - ligne : perte de 2 lignes;
 - groupe : 9 groupes déclenchés, en vitesse sans charge;
 - RB28 : détection d'ouverture du disjoncteur RB28.

Scénario 3 : résultat d'une mise hors tension volontaire d'une barre de services auxiliaires. Tout revient à la normale après la permutation

- essai pour événement très important, mais prévisible;
- 55 alarmes, durée de 4 minutes.

Trois scénarios ont été utilisés pour la phase d'essais sans unifilaire :

Scénario 4 : déclenchement d'un groupe par plusieurs protections

- essai pour événement important (à la limite) mais au déroulement non typique;
- 9 alarmes, durée de 52 secondes;
- éléments clefs de la situation :
 - gaz : présence de gaz dans le transformateur;
 - décl. 35 : déclenchement du groupe 35;
 - arrêt 35 : arrêt du groupe 35.

Scénario 5 : alarmes répétitives de motorisation sur 2 groupes et une alarme de haute température de transformateur sur un autre groupe

- essai pour événement critique noyé parmi des alarmes répétitives non reliées;
- 15 alarmes, durée de 1 minutes 57 secondes;
- éléments clefs de la situation :
 - T23 : haute température d'enroulement sur le transformateur 23.

Scénario 6 : déclenchement de groupe par protection mécanique avec des effets atypiques sur 2 groupes adjacents

- essai pour événement important avec conséquences non typiques;
- 24 alarmes, durée de 9 minutes 14 secondes;
- éléments clefs de la situation :
 - décl. 24 : déclenchement du groupe 24;
 - A25-A26 : alarmes momentanées sur les systèmes oléopneumatiques des groupes 25 et 26.

3.3.3. Maquettes

Pour faire des essais dynamiques (c.-à-d. avec des alarmes arrivant en temps réel) aussi complets que possible avec des opérateurs dans leur contexte habituel, on doit leur présenter une imagerie complète montrant l'installation où ils travaillent.

Alors qu'il y a trois présentations différentes des alarmes, le reste de l'imagerie demeure identique. On utilise donc dans les trois cas une présentation améliorée de l'unifilaire issue des travaux sur l'UCC-II. Cette présentation demeure semblable à la présentation actuelle de l'unifilaire sur ALCID/SICC mais couvre l'ensemble de l'installation avec des écrans à plus haute résolution. On a cherché autant que possible à avoir le maximum de points communs entre les trois modes de présentation. On a aussi cherché à rester près de ce que les opérateurs connaissent déjà afin que les opérateurs soient rapidement à l'aise avec les maquettes. En effet, l'introduction de changements significatifs dans

l'interface risquerait de faire sortir l'expert de son mode de fonctionnement d'expert, ce qui pourrait fausser les résultats.

Trois maquettes dynamiques ont été réalisées pour cette étude, la première comme référence de base, les deux autres pour tester les hypothèses de solution :

- **LISTE-CHRONO** : reproduisant l'annonceur à liste chronologique d'ALCID-SICC;
- **LISTE-ÉTAT** : annonceur à liste donnant l'état actuel des points;
- **TOPO** : annonceur intégré à l'unifilaire.

En résumé, la portion annonceur est donc présentée de trois façons différentes:

- **LISTE-CHRONO**⁴² (annonceur distinct à liste chronologique) : c'est la présentation actuelle utilisée pour ALCID/SICC, mais adaptée en couleur et résolution au style utilisé pour l'annonceur LISTE-ÉTAT. On utilise donc dans ce cas-ci la présentation améliorée de l'unifilaire et une version rafraîchie de l'annonceur chronologique (plutôt que la présentation actuelle) afin de ne pas désavantager artificiellement cette présentation face aux deux autres. LISTE-CHRONO se distingue par une liste où on retrouve des messages distincts pour l'apparition et la disparition de chaque alarme.
- **LISTE-ÉTAT**⁴³ (annonceur distinct à liste donnant l'état actuel avec filtres et repères ainsi qu'un schéma résumé) : LISTE-ÉTAT se distingue par sa liste donnant l'état actuel des points d'alarmes⁴⁴ et comportant des lignes vides pour distinguer les événements de conduite séparés dans le temps, des pictogrammes pour indiquer le type d'alarme et leur emplacement (repères de lecture), par des filtres contrôlés par l'opérateur et un schéma résumé de l'installation (par unités d'exploitation).

⁴² Voir la section 2.1 pour une description de la maquette.

⁴³ Voir la section 2.3.7.2 pour une description de la maquette.

- TOPO⁴⁵ (annonceur topographique intégré à l'unifilaire) : la présentation topographique des alarmes est intégrée à la présentation de l'unifilaire. Cet annonceur se présente sous la forme de pictogrammes d'alarmes intégrés au schéma unifilaire. L'annonceur peut donner le détail des alarmes par unité d'exploitation, en fait une liste dans le genre de celle de LISTE-ÉTAT. L'annonceur offre en outre des filtres contrôlés par l'opérateur.

Dans les trois cas, on présente donc à l'opérateur une imagerie complète de conduite afin de le mettre totalement dans le contexte et lui donner la liberté d'utiliser les informations qu'il désire. Vu qu'on s'intéresse seulement aux réactions initiales, les autres fenêtres (dialogues) spécialisées ne sont pas implantées dans les maquettes.

Pour chaque mode de présentation, les affichages sont animés par des programmes Visual Basic alimentés par des fichiers d'événements de conduite. Ces fichiers permettent de reproduire en temps réel les mêmes séquences d'alarmes dans chaque mode de présentation. Pour être conforme à la réalité, les événements de conduite surviennent sans intervention de l'opérateur et selon une séquence temporelle réaliste. On s'est efforcé d'uniformiser le plus possible l'apparence des parties comparables des maquettes. L'apparence de l'unifilaire est toujours la même, et l'annonceur topographique est activé ou non selon la condition.

L'unifilaire de la partie ouest de la centrale est présenté sur deux écrans de 21 pouces de diagonale placés côte à côte, avec une résolution totale de 3200x1200 pixels, c.-à-d. de 1600x1200 pixels sur chaque écran. L'annonceur séquentiel pour LISTE-CHRONO et LISTE-ÉTAT est présenté sur un écran de 17 pouces de diagonale avec une résolution de

⁴⁴ On a donc une seule ligne pour un point d'alarme donné, même s'il s'agit d'une alarme répétitive.

⁴⁵ Voir la section 2.3.7.2 pour une description de la maquette.

1024x768 pixels placé juste à droite des deux autres écrans. Le nombre de couleurs disponibles est de 65,535 pour chacun des écrans. Une fréquence de balayage supérieure à 70 Hz est utilisée pour tous les écrans. Un clavier spécialement adapté sert pour la commande de l'annonceur actif pour la condition testée; l'opérateur peut aussi utiliser la souris pour ce faire.

3.3.4. Caractéristiques des opérateurs participants

Les caractéristiques des opérateurs de Beauharnois (sujets de l'expérimentation) sont les mêmes que pour l'ensemble des opérateurs (voir chapitre 2), avec les particularités suivantes:

Sélection et expertise de la tâche. Le niveau de stress, la quantité de travail et l'expertise nécessaire sont supérieurs à la moyenne des installations d'Hydro-Québec.

Formation. Les opérateurs en salle de commande de Beauharnois commencent généralement leur carrière à Beauharnois comme opérateurs seconds. Ils apprennent alors comment fonctionne l'installation, comment fonctionnent les automatismes, etc. Avant d'occuper leur poste actuel, tous les opérateurs ont suivi un programme de formation de plus d'un an chez Hydro-Québec (société propriétaire de la centrale) et ont bénéficié d'une période de compagnonnage dans leur poste actuel. À Beauharnois on compte parmi les opérateurs un baccalauréat en éducation physique et un baccalauréat en littérature.

Connaissance des ordinateurs. En plus des ordinateurs de type PC, ils utilisent aussi une station VMS qui supporte le logiciel Gesteau pour la gestion de l'eau. Au moins un opérateur écrit des programmes basés sur Access. Ils sont familiers avec l'utilisation d'ALCID/SICC dont l'interface n'est pas standard.

Connaissance du système. Le taux de roulement du personnel est particulièrement faible à Beauharnois; si bien que les opérateurs gardiens de Beauharnois deviennent tous des experts de l'utilisation du système de conduite.

Neuf opérateurs de la salle de commande de la centrale de production hydroélectrique de Beauharnois ont participé à l'expérience. La Tableau 3.2 donne quelques détails sur ces sujets. Il s'agit de huit hommes et d'une femme âgés entre 35 et 50 ans, qui ont entre 6 et 15 ans d'expérience dans cette centrale, avec souvent en plus une expérience d'opérateur acquise dans d'autres centrales ou postes. Un dixième opérateur de la salle de commande a collaboré à la mise au point des maquettes, de la procédure et des événements. Le faible nombre d'opérateurs participants s'explique par le fait qu'on ne trouve pas à Hydro-Québec un plus grand groupe d'opérateurs partageant la même assignation, et ayant un niveau d'expérience élevé et relativement homogène.

Tableau 3.2 : Caractéristiques des sujets

#	âge	sexe	exp. (1)	éducation	expérience de Windows (4)	assig. (2)	depuis (2)	Test (3)
1	37	M	6-1	DEC Électrotechnique	excellente, programme	Est	1 s	T&LE
2	38	M	5-10	Bac. Économie	un peu	Est	2 s	LE&LE
3	36	M	6-6	Méc. véhicule lourd (prof.)	un peu	Ouest	2 s	LC&LC
4	39	F	9-5	1 an Bac Sc. pures	bonne	Ouest	3 s	LC&LC
5	41	M	7-5	CEGEP	bonne, programme un peu	Ouest	8 s	LE&LE
6	39	M	10-6	Bac. Kinanthropologie	bonne	Ouest	2-3 s	LE&LE
7	45	M	14-3	Bac. Littérature française	bonne	Est	3 s	LE&LE
8	44	M	5-2	Bac. Économie	très bonne	Ouest	3 j	T&LE
9	31	M	3-3	DEC Électrotechnique	bonne	Ouest	4 s	T&LC

(1) nombre d'années d'expérience à Beauharnois, en salle de commande, et comme opérateur second en centrale.

(2) assignation courante (partie est ou ouest de la centrale) de l'opérateur, et depuis combien de semaines. Vu qu'on présentait la partie ouest de la centrale dans les tests, l'assignation courante de l'opérateur aurait pu avoir un effet sur les résultats.

(3) maquette testée pour la première partie des tests et maquette testée dans la deuxième partie des tests; T pour TOPO, LE pour LISTE-ÉTAT, et LC pour LISTE-CHRONO.

(4) selon l'appréciation personnelle de l'opérateur et l'observation de l'auteur.

Il y a à Beauharnois deux opérateurs en salle de commande, un pour la partie « Est » de la centrale (groupes A, B et de 1 à 22, poste de départ « Est ») et un pour la partie « Ouest » de la centrale (groupes 23 à 36, poste de départ « Ouest » et poste « 230kV »). Il est fréquent que les deux opérateurs collaborent à la réalisation d'une tâche, ou encore qu'un opérateur remplace brièvement l'autre. L'opérateur de relève peut remplacer au besoin un des deux opérateurs sur le quart. L'assignation d'un opérateur donné alterne entre les deux parties de centrale avec une période d'environ un mois.

Les opérateurs sont déjà familiers avec un annonceur du type LISTE-CHRONO, celui de l'UCC d'ALCID-SICC. Comme mentionné plus haut, la salle de commande de Beauharnois est dotée d'une interface hybride composée d'un synoptique détaillé avec annonceurs (de points regroupés) distribués topographiquement et complété par l'annonceur à liste chronologique détaillée sur écran (celui d'ALCID/SICC actuel). Le synoptique est piloté par le système ALCID/SICC. Les opérateurs étaient déjà familiers

avec une implantation partielle de cette IHM lors des tests; environ la moitié des groupes étaient alors automatisés.

Les opérateurs de Beauharnois ont par ailleurs joué un rôle primordial dans la cueillette d'informations et les essais d'utilisabilité pour le projet global de définition de l'IHM de la deuxième génération d'ALCID/SICC.

3.3.5. Conditions de l'expérience.

Les maquettes informatiques de l'unifilaire de la centrale de Beauharnois et des trois modes de présentation des alarmes décrits plus haut sont utilisées dans plusieurs configurations différentes. La Figure 3.1 montre les conditions d'imageries considérées.

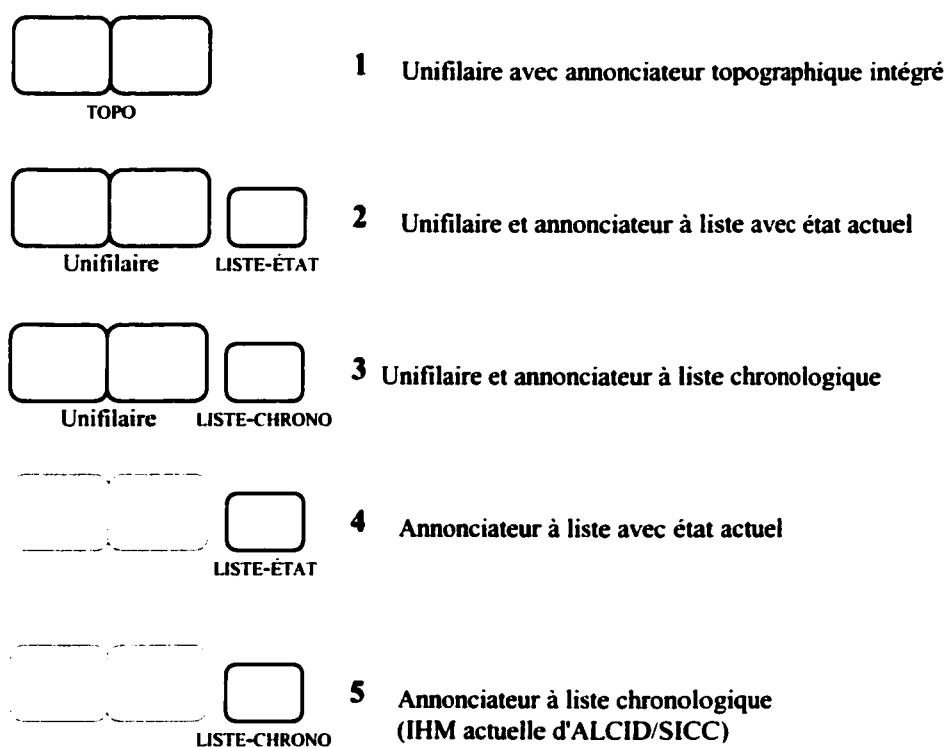


Figure 3.1 : Description des conditions d'imagerie considérées

La condition 5 correspond à la situation actuelle avec ALCID/SICC et au CER, où la page d'alarme est généralement affichée, mais rarement l'unifilaire détaillé pertinent, ou encore au cas d'une installation munie seulement d'un annonceur à liste chronologique sur écran. La condition 4 correspond à la situation en installation munie seulement d'un annonceur, mais avec la solution à liste donnant l'état actuel. La condition 3 représente la réalité des installations ou du CER une fois que la bonne page d'unifilaire est affichée.

Les conditions 3 et 5, avec LISTE-CHRONO, servent à établir la base de comparaison. Les conditions combinées TOPO + LISTE-ÉTAT et TOPO + LISTE-CHRONO (non illustrées) ne sont pas testées ici car il serait trop difficile d'en extraire de l'information sélective. La solution maintenant envisagée pour l'UCC-II d'ALCID/SICC, soit un annonceur topographique et un annonceur à liste, n'est donc pas considérée pour les tests. Et ceci même s'il est probable que la solution complète d'IHM doive présenter les alarmes des deux façons simultanément car la liste fonctionne très bien pour les alarmes isolées ou en petit nombre (en opération normale).

Par ailleurs il est utile de tester si on peut oublier complètement la chronologie pour se concentrer sur l'état, ce qu'on fait avec la condition 1 (TOPO). En fait il s'agit de ne fournir aucune information chronologique de façon immédiate (la liste des alarmes par unité d'exploitation demeure disponible sur clic du bouton droit de la souris, l'historique et les listes sont disponibles sur pression d'un bouton) et d'observer si l'opérateur manque d'information. Finalement LISTE-ÉTAT doit être considéré seul au moins pour les cas où TOPO est absent ou impraticable (condition 4).

La Figure 3.2, la Figure 3.3 et la Figure 3.4 montrent le détail de la disposition des dispositifs d'IHM pour les conditions 1, 2 et 3. On a utilisé la même disposition pour la

condition 4 que pour la condition 2 mais sans affichage sur les écrans d'unifilaire; de même pour la condition 5 à partir de la condition 3.

TOPO : unifilaire avec annonceur topographique intégré sur deux écrans de 21".

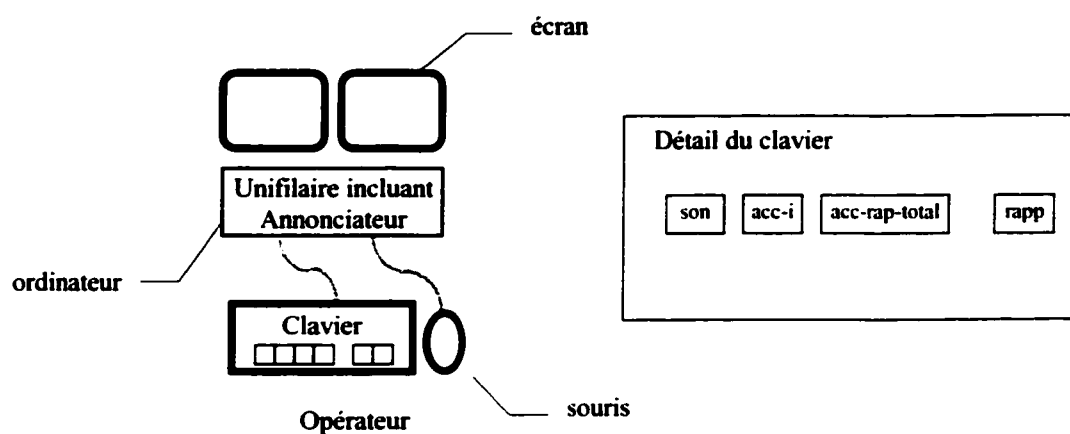


Figure 3.2 : Disposition des IHM pour TOPO (condition 1)

LISTE-ÉTAT: unifilaire sans annonceur (c.-à-d. annonceur non actif) sur deux écrans de 21" et annonceur avec liste montrant l'état actuel sur un écran de 17".

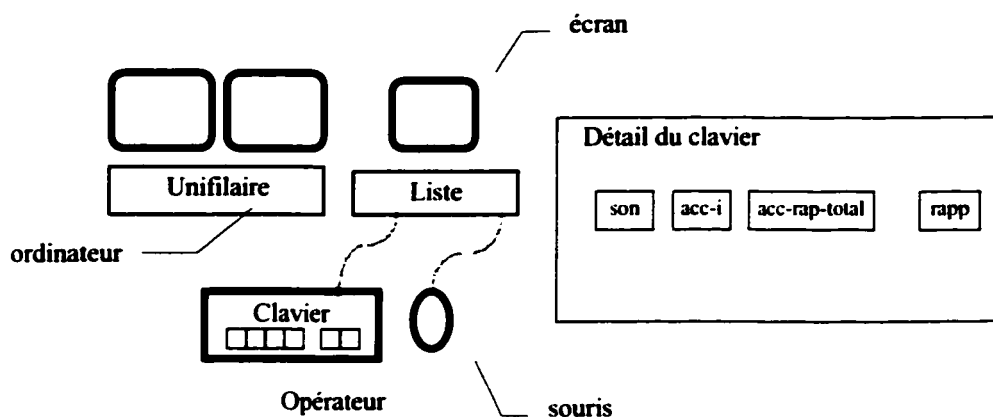


Figure 3.3 : Disposition des IHM pour LISTE-ÉTAT (condition 2)

LISTE-CHRONO: unifilaire sans annonceur (c.-à-d. annonceur non actif) sur deux écrans de 21" et annonceur chronologique traditionnel sur un écran de 17".

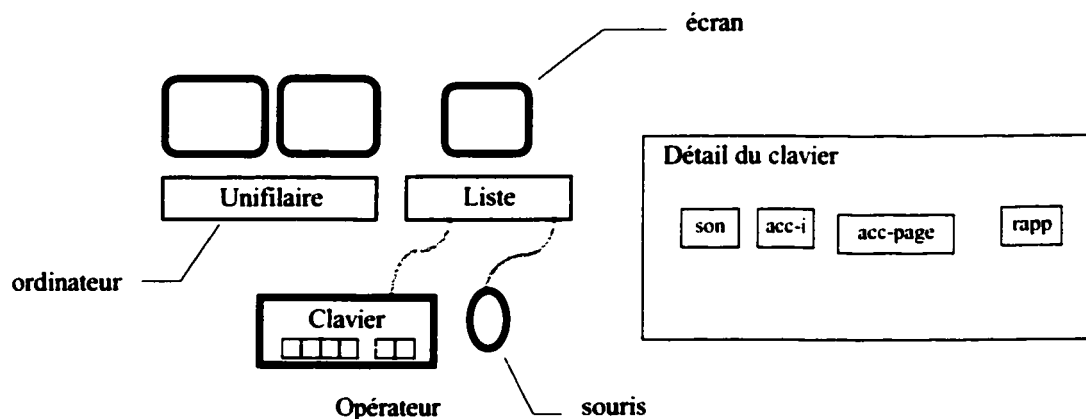


Figure 3.4 : Disposition des IHM pour LISTE-CHRONO (condition 3)

Comme illustré dans la Figure 3.5, l'expérimentation a été scindée en deux parties, une première partie avec l'unifilaire présent, et une seconde où l'unifilaire est absent.

- Première partie des tests, avec unifilaire (scénarios⁴⁶ 1, 2 et 3) :
 - . Condition 1 (3 opérateurs) : deux écrans présentent l'unifilaire qui intègre l'annonciateur topographique (TOPO).
 - . Condition 2 (4 opérateurs) : deux écrans présentent l'unifilaire et un 3^e écran présente l'annonciateur à liste avec état actuel des points (LISTE-ÉTAT).
 - . Condition 3 (2 opérateurs) : deux écrans présentent l'unifilaire et un 3^e écran présente l'annonciateur à liste chronologique (LISTE-CHRONO).
- Deuxième partie des tests, sans unifilaire (scénarios 4, 5 et 6) :
 - . Conditions 4 puis 5 (6 opérateurs) : chaque scénario apparaît sur un écran qui présente l'annonciateur à liste avec état actuel (LISTE-ÉTAT), suivi de l'annonciateur à liste chronologique (LISTE-CHRONO).
 - . Conditions 5 puis 4 (3 opérateurs) : ordre contraire à celui de la condition 4 puis 5 : chaque scénario apparaît sur un écran qui présente l'annonciateur à liste chronologique (LISTE-CHRONO), suivi de l'annonciateur à liste avec état actuel (LISTE-ÉTAT).

La Figure 3.5 montre les quatre séquences possibles de conditions pour une séance expérimentale donnée :

- condition 1 (scénarios 1, 2, 3); condition 4 puis condition 5 (scénarios 4, 5, 6);
- condition 1 (scénarios 1, 2, 3); condition 5 puis condition 4 (scénarios 4, 5, 6);
- condition 2 (scénarios 1, 2, 3); condition 4 puis condition 5 (scénarios 4, 5, 6);
- condition 3 (scénarios 1, 2, 3); condition 5 puis condition 4 (scénarios 4, 5, 6).

Le Tableau 3.3 donne le détail des tests tels qu'effectués.

⁴⁶ Voir la section 3.3.2 pour une description des scénarios.

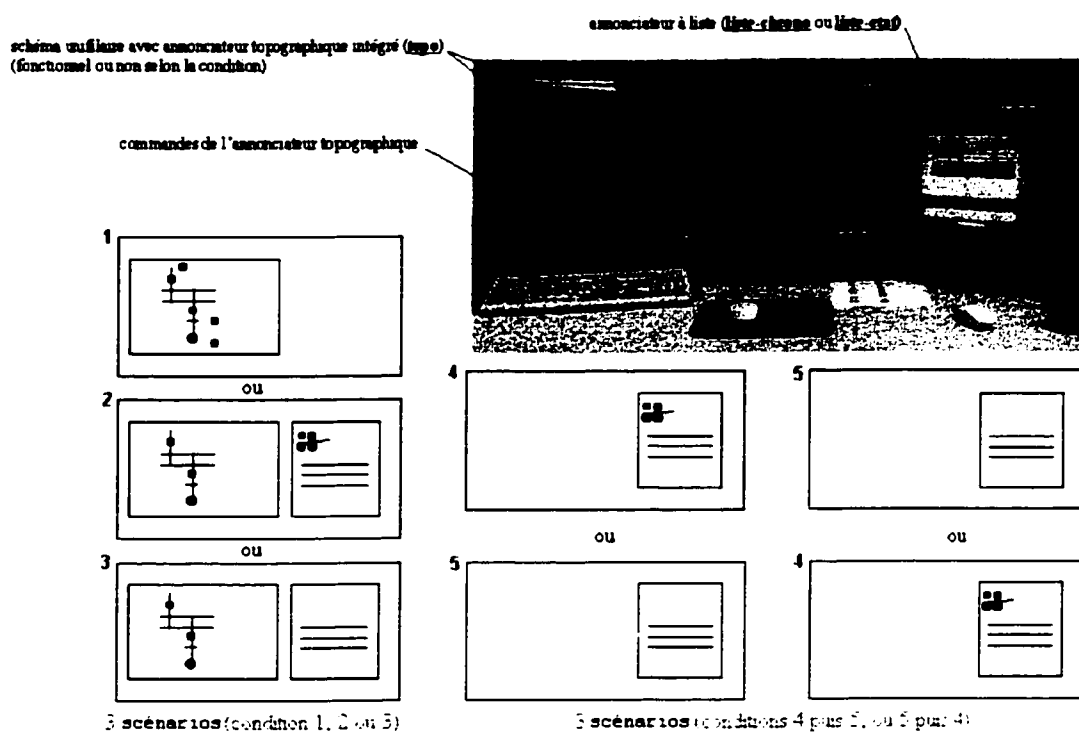


Figure 3.5 : Séquences possibles des conditions de l'expérience

3.3.5.1. Préparation pour les tests

Des essais d'utilisabilité ont été effectués avec un opérateur ne participant pas aux essais pour vérifier que les améliorations effectuées sur les maquettes depuis les essais d'utilisabilité pour l'UCC-II étaient valables. En parallèle à ces essais ont été effectués des essais de mise au point de la procédure (essais pilote) avec le même opérateur.

3.3.6. Procédure expérimentale

Déroulement de la séance

La séance expérimentale s'est déroulée à la centrale hydroélectrique de Beauharnois à Melocheville, au Québec, dans une salle attenante à la salle de commande. Les

opérateurs étaient alors en relève, ou en fonction et remplacés par un opérateur de relève pendant les tests. La séance a duré environ 2 heures pour chaque opérateur (qui travaillait seul) qui n'a vu qu'un seul mode de présentation des alarmes durant la première partie des tests, et deux modes successivement durant la deuxième partie des tests. On a laissé le temps à chacun de se familiariser avec la maquette, avant de lui présenter les événements. On a demandé à l'opérateur d'expliquer sa compréhension de chaque événement le plus tôt possible, dès qu'il se sentait prêt à poser une première action⁴⁷. Plusieurs séances de tests furent complétées (selon la disponibilité de l'opérateur) par la présentation des mêmes événements selon les deux autres modes de présentation afin d'obtenir les commentaires de l'opérateur sur les trois modes de présentation. Chaque séance a été filmée au moyen d'une caméra vidéo de façon à ce que l'on puisse, à partir de l'enregistrement, mesurer les temps de réponse des opérateurs et noter leurs comportements et leurs commentaires. L'analyste a aussi pris des notes tout au long des séances. La caméra vidéo sur trépied était située à l'arrière avec une vue un peu de côté du dos de l'opérateur, du clavier et des écrans. L'opérateur était assis face aux écrans et au clavier. L'expérimentateur était assis à côté de l'opérateur, un peu en retrait et hors du champ de la caméra. Les écrans étaient disposés en arc de cercle sur une table avec le clavier et les souris. Un ordinateur pilotait les deux écrans de 21" tandis que l'écran de 17" était piloté par un ordinateur portable à portée de l'expérimentateur (voir la photo sur la Figure 3.5).

Voici le déroulement chronologique des séances d'essais :

- Questions pour préciser les caractéristiques du sujet (Tableau 3.2).

Explications du but de l'expérimentation.

Consignes.

⁴⁷ Il s'est avéré important de formuler ainsi la demande à l'opérateur, car si on lui demandait d'expliquer sa compréhension, l'opérateur avait tendance à fonctionner en mode diagnostic.

- Période d'adaptation d'environ une demi-heure, avec exercices au besoin⁴⁸ : chargement puis démarrage des trois scénarios de familiarisation, en les passant au besoin plus d'une fois :
 - l'opérateur doit se sentir à l'aise avec l'interface, connaître les boutons et leur action;
 - l'état initial de l'installation doit être clair pour l'opérateur;
 - l'opérateur doit reconnaître les principaux pictogrammes;
 - l'opérateur doit bien comprendre ce qu'on attend de lui.
- Période d'essais d'environ 20 minutes durant lesquelles sont présentés les six scénarios sur lesquels on effectue des mesures :
 - chargement puis démarrage des trois événements de test avec unifilaire;
 - chargement puis démarrage des trois événements de test sans unifilaire avec un annonceur à liste; chaque événement est ensuite repassé une seconde fois sur l'autre annonceur à liste.
- Debriefing informel avec l'opérateur : impressions, commentaires, idées.
- Après les tests on a effectué avec les opérateurs intéressés et disponibles des essais informels avec les autres présentations pour recueillir leurs commentaires et impressions.

Explications et consignes données à l'opérateur

L'analyste explique de vive voix le but de l'expérimentation: il s'agit de comparer quantitativement et qualitativement trois façons de présenter les alarmes pour les cas complexes, et qualitativement pour certains aspects en situation stable. Les opérateurs

⁴⁸ Dans ses réactions, l'opérateur réagit souvent selon ce qui est disponible actuellement en salle de commande. Si on le met dans un autre environnement, il faut prendre grand soin qu'il en intègre bien les possibilités, qu'il puisse exercer son expertise. S'il y a un changement important à l'IHM, les experts seront au début des novices de l'outil. On peut cependant espérer que leur large connaissance de la tâche leur permettra de profiter rapidement des améliorations valables. Il faut cependant tenir compte de ce fait dans l'organisation des essais en leur laissant l'occasion de s'entraîner afin d'être dans le bon mode lors des essais avec mesures.

de Beauharnois n'ont pas été choisis pour des raisons techniques ou en fonction de projets spécifiques; le synoptique y est déjà conçu selon un mode de présentation partiellement topographique et on envisage d'y utiliser plus tard une présentation testée dans cette étude. L'auteur profite d'une bonne relation avec les opérateurs de Beauharnois, et ces derniers constituent un groupe assez nombreux et homogène d'experts pour une même installation.

Les opérateurs peuvent poser des questions, mais on leur demande d'attendre après l'expérience pour expliquer les avantages espérés des nouveaux modes de présentation des alarmes.

La consigne de base pour les tests quantitatifs est de verbaliser la première impression; juste avant la décision d'agir. L'instruction précise donnée à l'opérateur est de prévenir l'expérimentateur dès qu'il se sent prêt à agir ou à ne pas agir (sans exclure le fait de dire ce qu'il pense qui se passe), puis d'expliquer sa compréhension ou l'action choisie (mais pas de penser tout haut pendant la réflexion). C'est à dire quelle est la première action d'exploitation, et pourquoi ?

Il est important de préciser aux opérateurs que l'on teste les présentations, pas les opérateurs. Les tests sont dynamiques, mais les maquettes n'offrent pas les fonctions utiles après la réaction initiale aux événements.

On a profité de la période de familiarisation pour donner l'explication du montage d'essai et permettre à l'opérateur de faire l'essai des fonctions. L'opérateur doit supposer que la centrale ouest est complètement automatisée. La maquette testée a été expliquée sur papier pour les 3 premiers tests, et sur écran avec des événements de réchauffage pour les tests suivants.

Pour TOPO, on a expliqué chaque emplacement de pictogramme, la liste détaillée sur demande, le résumé et l'indicateur du nombre d'alarmes non acquittées, ainsi que le codage visuel pour de multiples alarmes sur un seul emplacement.

Pour LISTE-ETAT, on a expliqué la présentation de l'état actuel (y compris pour les alarmes répétitives), les repères de lecture, le schéma résumé, les boutons, les pictogramme d'emplacement.

Pour LISTE-ÉTAT et TOPO, on a aussi expliqué les pictogrammes utilisés. Une feuille de rappel reste posée sur la table, bien en vue.

LISTE-CHRONO ne demande qu'une présentation minimale car cette maquette reproduit l'annonceur sur écran que les opérateurs utilisent déjà à Beauharnois.

A la fin, on a demandé aux opérateurs de ne pas discuter de leur expérience avec les opérateurs n'ayant pas encore passé le test.

Calendrier des tests

Les tests ont été répartis sur 5 jours entre le 24 novembre 1998 et le 10 décembre 1998.

Le Tableau 3.3 donne le détail du calendrier des tests.

Tableau 3.3 : Calendrier des tests

Date	Op.	Condition avec unifilaire (scénarios 1, 2, 3)	Condition avec liste seule (scénarios 4, 5, 6)	Condition avec liste seule (scénarios 4, 5, 6)
98/11/24	1	1 : TOPO	4 : LISTE-ÉTAT	5 : LISTE-CHRONO
98/11/24	2	2 : LISTE-ÉTAT	4 : LISTE-ÉTAT	5 : LISTE-CHRONO
98/11/25	3	3 : LISTE-CHRONO	5 : LISTE-CHRONO	4 : LISTE-ÉTAT
> scénarios *				
98/12/01	4	3 : LISTE-CHRONO	5 : LISTE-CHRONO	4 : LISTE-ÉTAT
98/12/01	5	2 : LISTE-ÉTAT	4 : LISTE-ÉTAT	5 : LISTE-CHRONO
> scénario 6 *				
98/12/01	6	2 : LISTE-ÉTAT	4 : LISTE-ÉTAT	5 : LISTE-CHRONO
> TOPO version 2 *				
98/12/09	7	2 : LISTE-ÉTAT	4 : LISTE-ÉTAT	5 : LISTE-CHRONO
98/12/09	8	1 : TOPO	4 : LISTE-ÉTAT	5 : LISTE-CHRONO
98/12/10	9	1 : TOPO	5 : LISTE-CHRONO	4 : LISTE-ÉTAT

* : corrections mineures effectuées pour éviter la répétition, lors des tests subséquents, de commentaires sur des détails incorrects. Ceci afin de laisser plus de place aux commentaires pertinents à l'étude.

Mesures

Les aspects suivants ont concouru à l'évaluation de la satisfaction des objectifs de l'IHM d'annonciation :

- temps de compréhension;
- exactitude de la compréhension du nouvel état (pas nécessairement de la cause);
- commentaires des opérateurs :
 - pertinence de changer l'IHM? Cela correspond-t-il à un manque?
 - problèmes introduits par la nouvelle présentation?
 - appréciation générale.

L'enregistrement vidéo et les notes prises par l'expérimentateur constituent les données brutes recueillies. L'entrevue était du type semi-structuré. La bande sonore de l'enregistrement vidéo contient l'essentiel de l'information recueillie, c.-à-d. les verbalisations de l'opérateur et le signal sonore d'arrivée des alarmes. L'image fournit de l'information complémentaire pour bien situer les verbalisations, en particulier le moment de démarrage des scénarios, l'avancement des scénarios et la maquette utilisée.

Par ailleurs, l'image renseigne sur les gestes de l'opérateur (gestion de l'annonceur) et la direction générale de son regard (liste ou unifilaire).

Les mesures ont été effectuées après coup à partir de l'enregistrement vidéo en se basant sur le compteur de temps du magnétoscope. Les données recueillies furent les temps de réponse et l'exactitude de la compréhension ainsi que les comportements et les commentaires de l'opérateur. Le temps de réponse (en secondes) est le temps qui s'est écoulé entre l'apparition du début de l'événement à l'écran et le début de la verbalisation par l'opérateur (au moment où il se sent prêt à amorcer une première action sur le processus). Le degré de compréhension est évalué à partir de la verbalisation d'aspects clefs de la situation après l'événement. Les commentaires, impressions et idées des opérateurs ont aussi été notés. Pour les cas où cela s'est révélé possible, on a aussi noté les mouvements de la tête de l'opérateur entre l'unifilaire et l'annonceur à liste.

3.4. Résultats de l'expérimentation

Cette section est divisée en deux parties : la première donne les résultats des mesures de temps de compréhension, tandis que la deuxième section décrit les résultats qualitatifs de l'expérience. Étant donné le parti pris d'ouverture dans les tests, il n'était pas possible de prévoir à l'avance exactement comment structurer les résultats. Une partie de la structuration a donc été faite après coup.

3.4.1. Résultats quantitatifs

Le Tableau 3.4 et le Tableau 3.5 présentent les résultats quantitatifs des tests de rapidité et d'exactitude de compréhension de la situation après un événement complexe. Pour chaque événement, des points clés de la compréhension de l'opérateur ont été choisis (voir la section 3.3.2). Un "P" indique que la réponse de l'opérateur est partielle, c.-à-d.

porte sur une partie du point clé seulement, selon l'évaluation de l'opérateur⁴⁹. Ainsi, par exemple, "3P/12" signifie une réponse partielle après 3 secondes et une réponse complète et correcte après 12 secondes. Une case vide signifie que l'opérateur n'a rien mentionné au sujet de cet aspect de l'événement. Les meilleurs résultats se traduisent par les plus petits nombres (c'est la rapidité de réponse de l'opérateur) dans le plus grand nombre de colonnes possibles (c'est le nombre d'aspects de la situation que l'opérateur a bien perçus).

Le Tableau 3.4 donne les résultats pour les événements montrés avec l'unifilaire visible. Le scénario 3 n'a pas donné lieu à des comportements mesurables de la part des opérateurs car le déroulement de cet événement s'est révélé relativement prévisible pour eux.

Tableau 3.4 : Temps requis pour comprendre les événements des scénarios 1 et 2

Op.	Condition	Scénario 1				Scénario 2				
		Barres	Groupe	Lignes	Sa	NYPA	Ligne	Groupe	Sa	RB28
3	3 : Unif.+LISTE-CHRONO		3P/12	12		6	6*	14	74	33
4	3 : Unif.+LISTE-CHRONO	4P/26	33			**	1P			23
2	2 : Unif.+LISTE-ÉTAT	0					9	9		
5	2 : Unif.+LISTE-ÉTAT		2			27	2P/12			
6	2 : Unif.+LISTE-ÉTAT	3	3	10		5	5*	16	16	15
7	2 : Unif.+LISTE-ÉTAT	1	1			28	0P/28*	8P		
1	1 : TOPO	16	7P/32				1P/3			
8	1 : TOPO	11	6	51	39	63	7P/63*	17P	28	
9	1 : TOPO	40	66	10		1	1*	10	14	

* : implicite si l'op. dit NYPA

** : à cause d'une erreur d'expérimentation, le schéma unifilaire montrait une configuration de la centrale incompatible avec l'événement, ce qui invalide partiellement ce résultat.

Note : les temps sont en secondes

Le Tableau 3.5 donne les résultats pour les événements de conduite montrés uniquement sur les annonceurs à liste (sans unifilaire).

⁴⁹ On posait aux opérateurs une question ouverte; la compréhension d'un point clef par un opérateur pouvait se manifester de bien des façons différentes.

Tableau 3.5 : Temps requis pour comprendre les événements des scénarios 4, 5 et 6

Op.	Condition	Scénario 4			Scénario 5	Scénario 6	
		Gaz	Décl. 35	Arrêt 35	T23	Décl. 24	A25-A26
3	5 : LISTE-CHRONO		0	18	0	(pas clair)	
4	5 : LISTE-CHRONO		0		7	7	
9	5 : LISTE-CHRONO	3	3	6	0	13	
1	4 : LISTE-ÉTAT		5	40	(pas vu)	2	
2	4 : LISTE-ÉTAT		0	20	10	(pas filmé)	(pas filmé)
5	4 : LISTE-ÉTAT		3	19	0	12	
6	4 : LISTE-ÉTAT	0	0	10P	0	5	vu (1)
7	4 : LISTE-ÉTAT	6P/11	0		0	6(P)	
8	4 : LISTE-ÉTAT		5		0	2	

(1) L'opérateur a mentionné ces 2 groupes au cours d'une entrevue faisant suite à l'expérience.

Note : les temps sont en secondes.

Pour un scénario donné, on peut examiner les résultats de deux façons :

- délai de verbalisation d'un aspect de compréhension donné (une colonne);
- nombre d'aspects de compréhension verbalisés (nombre d'éléments mesurés dans chaque rangée); afin de tenter une mesure du degré de compréhension d'une situation donnée.

Les niveaux de signification (« P ») ont été calculés en appliquant un test bilatéral non paramétrique de Mann-Whitney. Quand il y a trois groupes de données, on a aussi effectué un test de Kruskal-Wallis (ANOVA non paramétrique). Le logiciel InStat de GraphPad Software Inc. a été utilisé pour faire les calculs.

En prenant une colonne pleine (délai de verbalisation d'un aspect donné de la situation), soit la plus susceptible de mener à des différences statistiquement significatives, le scénario 4, colonne Décl. 35, on obtient (délais de verbalisation en secondes) :

LISTE-CHRONO :	0 0 3
LISTE-ÉTAT :	5 0 3 0 0 5
P (CHRONO-ÉTAT) :	0.5971

Avec un niveau de signification de 0.5971, l'écart n'est pas considéré comme significatif.

On peut aussi analyser les colonnes incomplètes en considérant les délais de verbalisation en secondes (en ne gardant que les temps de compréhension complète); et en excluant les cas de non-verbalisation (représentés par les «-»).

• par exemple, le scénario 1, colonne « groupe » :

LISTE-CHRONO :	12 33
LISTE-ÉTAT :	2 3 1 -
TOPO :	32 6 66
P (CHRONO-ÉTAT) :	0.2
P (CHRONO-TOPO) :	> 0.9999
P (ÉTAT-TOPO) :	0.1000
P (K-W) :	0.0750

Les écarts ne peuvent être considérés comme significatifs. Il en est de même avec les autres colonnes.

Voici un exemple de résultats pour le nombre d'aspects verbalisés (rangée).

• scénario 4, 3 aspects :

LISTE-CHRONO : 2 1 3
 LISTE-ÉTAT : 2 2 2 2 2 1
 P (CHRONO-ÉTAT) : 0.2876

Cet écart n'est pas considéré significatif. Pour les scénarios 1 et 2, on n'obtient pas non plus d'écart significatif.

Pour avoir des écarts significatifs, il aurait fallu un plus grand nombre de sujets, ou des données moins éparpillées, ou des écarts plus grands. Voici, pour illustrer, quelques exemples fictifs :

GROUPE A : 4 5 6 7
 GROUPE B : 6 7 8 9
 P : 0.1103 (non significatif)

GROUPE A : 4 5 6 7
 GROUPE B : 7 8 9 10
 P : 0.0427 (significatif)

GROUPE A : 3 5 6 8
 GROUPE B : 6 8 9 11
 P : 0.1103 (non significatif)

Étant donné qu'on n'a pas obtenu d'écarts significatifs, il n'est pas pertinent de donner les statistiques descriptives comme les moyennes, médianes, etc.

Pour voir si un autre aspect des données peut donner un écart significatif, et même si la pertinence de cette donnée n'est pas sûre, voici finalement deux exemples de résultats pour le délai avant la première verbalisation.

• scénario 1, délai avant la première verbalisation :

LISTE-CHRONO :	3 4
LISTE-ÉTAT :	0 2 3 1
TOPO :	7 6 10
P (CHRONO-ÉTAT) :	0.1619
P (CHRONO-TOPO) :	0.2000
P (ÉTAT-TOPO) :	0.0571
P (K-W) :	0.0354

Selon le test de Kruskal-Wallis, les écarts entre CHRONO et ÉTAT, ainsi que les écarts entre CHRONO et TOPO ne sont pas significatifs. Par contre l'écart entre ÉTAT et TOPO est significatif ($P < 0.05$). Nous pensons cependant qu'il ne faut pas accorder trop d'importance à ce cas car il est isolé, et que la première verbalisation (sans tenir compte de l'aspect verbalisé) n'est probablement pas une mesure pertinente.

• scénario 6, délai avant la première verbalisation :

LISTE-CHRONO :	7 13
LISTE-ÉTAT :	2 12 1 6 2
P (CHRONO-ÉTAT) :	0.1905

Cet écart n'est pas considéré significatif. On n'obtient pas non plus d'écart significatif pour les autres scénarios.

On pourrait être tenté de grouper certaines données pour obtenir des groupes d'échantillons plus grands, et donc augmenter les chances d'obtenir des écarts

significatifs. Ça ne peut être fait car les données sont hétérogènes pour les raisons suivantes :

- on ne peut pas affirmer que ce qui n'a pas été verbalisé n'a pas été compris par l'opérateur; par contre l'opérateur est sûrement conscient des éléments qu'il a verbalisé. Les opérateurs ont des styles différents, certains sont plus volubiles, certains sont très « intuitifs » dans leur compréhension;
- les aspects ne sont pas tous de la même importance pour l'action immédiate. Les groupes turbine-alternateur sont très importants, ainsi que la présence de gaz dans un transformateur. Certains aspects sont normalement liés logiquement, ou interdépendants.

Par ailleurs, on peut remarquer que TOPO semble amener plus de verbalisations, comme si ce type de présentation encourageait à une exploration plus complète, ou à la verbalisation.

On peut aussi remarquer qu'il existe des différences importantes entre les résultats des opérateurs. De plus, on observe un manque de cohérence des résultats d'une colonne à l'autre pour un même scénario, ainsi que beaucoup d'absences de verbalisation (cases vides) qui révèlent que l'opérateur n'a pas perçu un aspect, ou n'a pas considéré utile de le verbaliser. Certains opérateurs ont plus de difficulté que d'autres avec certains scénarios, et réussissent mieux que d'autres opérateurs avec d'autres scénarios.

3.4.2. Résultats qualitatifs

Même si les résultats quantitatifs n'indiquent pas d'avantage pour le mode de présentation LISTE-ÉTAT, les opérateurs se disaient plus sûrs de leur compréhension avec

ce mode de présentation qu'avec les autres modes de présentation. Par ailleurs, ils étaient plus susceptibles de ne pas détecter certaines alarmes avec le mode TOPO⁵⁰.

Bien qu'ils soient parvenus à utiliser le mode topographique de façon efficace⁵¹, la plupart des opérateurs se sentaient peu à l'aise avec ce mode de présentation; plusieurs se sont plaints d'avoir trop d'informations à la fois, de se sentir submergés.

Par ailleurs, dans leur appréciation et leurs commentaires, la préférence des opérateurs va nettement à la présentation en liste avec état actuel (LISTE-ÉTAT), et ce pour deux raisons principales:

- Ils sont unanimes à apprécier la liste avec état actuel, en particulier parce qu'elle permet de réduire le nombre de lignes d'alarmes. Le seul défaut qu'un opérateur ait trouvé à ce mode de présentation est une moins bonne sensation du déroulement de l'événement. Sept opérateurs (7/9) aiment la possibilité de voir immédiatement l'état d'un point sans avoir à gérer l'affichage.
- Cinq opérateurs (5/9) ont montré un intérêt marqué pour le schéma résumé qui constitue pour eux un élément d'information important pour comprendre une situation complexe et détecter des alarmes isolées.

On peut aussi noter que:

- deux opérateurs (2/9) ont dit apprécier les pictogrammes sur chaque ligne;
- d'autres aspects non couverts par les tests comme les filtres ad hoc et la fenêtre de suivi d'un point (tendance) sont très appréciés par tous.

⁵⁰ Alors que la liste a l'avantage de montrer toutes les alarmes actives au même endroit, ce qui évite d'en oublier.

⁵¹ Ils arrivaient à comprendre la nouvelle situation aussi rapidement qu'avec les deux autres modes de présentation.

Il ressort clairement des commentaires des opérateurs que l'annonceur LISTE-ÉTAT donne plus d'indices concomitants et présente l'information de façon plus claire que l'annonceur LISTE-CHRONO.

Tous les opérateurs ont apprécié le fait que les alarmes répétitives n'occupent qu'une ligne sur l'affichage de LISTE-ÉTAT.

3.4.3. Analyse de l'activité oculaire

Même si cela n'avait pas été prévu à l'origine, il a été possible de recueillir des données quantitatives sur la direction du regard des opérateurs pendant l'analyse initiale de quelques événements. En effet, les écrans présentant l'unifilaire et l'écran présentant l'annonceur à liste étaient suffisamment distants pour que l'opérateur doive tourner la tête de façon très évidente pour passer de l'un à l'autre. Le Tableau 3.6 donne le temps en secondes passé par l'opérateur à regarder l'annonceur à liste ou l'unifilaire. Chaque ligne du tableau correspond à la réaction d'un opérateur donné lors d'un scénario. Les nombres indiqués dans les colonnes « Liste » et « Unifilaire » représentent le temps que l'opérateur regardait l'annonceur à liste ou l'unifilaire.

Dans chaque cas, l'unifilaire et un annonceur à liste (LISTE-CHRONO ou LISTE-ÉTAT) étaient affichés; il n'y a pas de données pour les opérateurs 1, 8 et 9 car ils ont vu l'annonceur topographique seulement.

Tableau 3.6 : Temps passé à regarder l'annonceur à liste et l'unifilaire

Op.	Condition	Scénario	Liste	Unifilaire	Liste	Unifilaire	Liste	Unifilaire
3	3 : LISTE-CHRONO	1	6	6	6	-		
4	3 : LISTE-CHRONO	1	11	-	-	-		
2	2 : LISTE-ÉTAT	1	7	-				
5	2 : LISTE-ÉTAT	1	10	7		-		
6	2 : LISTE-ÉTAT	1	7	2	1	-	-	-
7	2 : LISTE-ÉTAT	1	1	-				
3	3 : LISTE-CHRONO	2	8	-	-	-		
4	3 : LISTE-CHRONO	2	17	-	-	-		
2	2 : LISTE-ÉTAT	2	5	4	11	-		
5	2 : LISTE-ÉTAT	2	4	32	4	8	7	-
6	2 : LISTE-ÉTAT	2	18	22	-			
7	2 : LISTE-ÉTAT	2	8	-				
2	2 : LISTE-ÉTAT	3	-	1	-	-		
5	2 : LISTE-ÉTAT	3	-	12	--			
6	2 : LISTE-ÉTAT	3	45	-				
7	2 : LISTE-ÉTAT	3	-	2	-	1		

Note :

- : coup d'œil très bref, de moins d'une seconde.

-- : l'opérateur a continué à lire en détail après la fin du test.

Les durées sont en secondes.

Les opérateurs commencent tous par regarder la liste puis regardent l'unifilaire; la plupart font au moins un deuxième cycle d'alternance, quelques-uns font trois cycles (toujours la liste en premier; pratiquement toujours au moins deux cycles, parfois un cycle de plus). Il n'y a pas de différence apparente de comportement selon le type d'annonceur à liste.

3.5. Discussion

Les résultats quantitatifs, portant sur la vitesse et l'exactitude de compréhension des opérateurs, ne permettent pas de tirer des conclusions en faveur d'un mode de présentation des alarmes en particulier. L'hypothèse de cette étude en faveur du mode de présentation topographique n'a donc pas été confirmée par les tests quantitatifs. De même, l'hypothèse de cette étude en faveur du mode de présentation en liste donnant

l'état actuel, lorsque l'unifilaire n'est pas disponible, n'a donc pas été confirmée par les tests quantitatifs.

Au-delà du nombre limité de sujets et de la variabilité des résultats, trois variables ont pu influencer les résultats :

- l'expression de l'idée, c.-à-d. la mise en œuvre effective d'une présentation basée sur une hypothèse donnée;
- la durée d'utilisation avant les tests;
- les cas utilisés.

Il est possible que l'utilisation efficace de l'affichage topographique soit en bonne partie basée sur la reconnaissance de patrons, lesquels n'étaient pas encore appris lors des tests avec l'annonceur topographique. En effet, l'observation des opérateurs qui utilisent le panneau synoptique révèle que ces derniers font sans doute de la reconnaissance de patrons. Ils tirent vraisemblablement avantage du fait que le synoptique offre une plus grande variété de textures, de types de voyants lumineux, et de contextes (plusieurs endroits sont identifiables sans que l'on ait à lire les numéros de groupes, seulement par les caractéristiques du panneau).

La coloration des réseaux jusqu'à proximité des groupes est probablement un avantage significatif pour établir une structure et favoriser la reconnaissance de patrons; une signalisation de changement d'état des liens (barres, artères, lignes, etc.) aurait probablement une incidence déterminante sur la reconnaissance de patrons (ça ferait probablement une grande différence pour un cas comme le scénario 2). En particulier le clignotement des lignes dans TOPO pourrait faire une différence car cela crée un regroupement, une structure (sinon l'opérateur se sent saturé d'informations dès qu'on dépasse trois ou quatre points clignotants).

A cela s'ajoute un manque d'habitude⁵² avec l'interface topographique qui se traduit par des stratégies d'exploration et de gestion d'affichage mal adaptées (mais adéquates pour les annonceurs à liste chronologique). De plus, l'habitude avec les moyens actuels d'affichage rend difficile l'appréciation de moyens très différents. L'analyse de l'utilisation du synoptique met en évidence que les opérateurs préfèrent faire la gestion de l'événement et des alarmes par sous-système, ce qui n'était possible qu'avec l'affichage topographique lors des tests. Cela nous amène à penser que l'absence d'une performance supérieure avec l'affichage topographique pourrait dépendre davantage du design particulier de ce mode de présentation dans cette étude et du manque d'entraînement des opérateurs avec celui-ci que du bien-fondé ergonomique de ce mode de présentation.

Les présentations LISTE-ÉTAT et TOPO étaient nouvelles pour les opérateurs. Même la présentation LISTE-CHRONO avec unifilaire n'est pas absolument identique à ce qu'ils utilisent chaque jour. Les opérateurs de Beauharnois sont habitués d'avoir la vue d'ensemble sur un panneau synoptique et non pas sur écran. Par ailleurs ça évite probablement de donner un avantage indu à la présentation LISTE-CHRONO face aux autres avec lesquelles ils ne sont pas familiers. Par contre, on a pu observer lors des essais d'utilisabilité la facilité avec laquelle les opérateurs se retrouvaient sur la présentation LISTE-ÉTAT (au bout d'à peine quelques minutes).

Les gestes automatiques des opérateurs (de gestion de l'annonceur), hérités de l'usage des annonceurs à liste chronologique, les empêchent probablement de profiter des avantages potentiels présumés des nouveaux annonceurs. Pour améliorer la possibilité de découvrir (ou extrapoler) par des essais d'utilisabilité (ou autrement) les effets de la

⁵² Les opérateurs n'ont eu qu'un entraînement d'environ une demi-heure seulement. Par exemple, on a pu observer qu'ils faisaient l'accusé - rappel de façon automatique même si ce n'était pas utile (après des années d'habitude avec un annonceur à liste chronologique où c'est nécessaire de le faire).

prise d'expertise sur l'IHM (sinon on risque de laisser tomber de bonnes idées) il faudrait idéalement faire une longue formation avant les essais, atteindre au moins l'accoutumance. Ce n'est malheureusement pas praticable. Seule une étude longitudinale permettrait de répondre de façon sûre. En particulier, si une bonne partie des gains venait de la reconnaissance de patrons, il est probable qu'un test court comme celui-ci ne les fasse pas ressortir.

Par ailleurs, les données qualitatives qui nous avons recueillies auprès des opérateurs montrent que ces derniers préfèrent nettement la présentation en liste avec état actuel (LISTE-ÉTAT). Ceci corrobore l'observation que le paradigme de lecture et d'accusé de chaque ligne de l'écran ne tient pas s'il y a plus de trois ou quatre alarmes à la fois : l'opérateur préfère alors éliminer de l'affichage les alarmes revenues à la normale pour comprendre la situation; il veut vite connaître les alarmes restantes.

Le comportement d'alternance du regard entre l'annonceur à liste et l'unifilaire suggère que :

- les opérateurs sont intéressés par les premières alarmes;
- les opérateurs doivent regarder l'unifilaire pour comprendre l'impact;
- les informations données par l'annonceur à liste et l'unifilaire sont complémentaires.

Ces tests se rapprochent des essais d'utilisabilité, les résultats sont plus qualitatifs que quantitatifs, et la réaction des utilisateurs compte beaucoup. Ils sont experts, naturellement très critiques avec des maquettes : le simple fait que ça leur paraît valable est déjà une garantie en soi⁵³.

⁵³ L'inverse n'est pas vrai à tout coup.

Les résultats quantitatifs diffèrent de ceux de Kragt qui a obtenu des différences significatives entre les trois modes testés. Par contre, les modes comparés et les paramètres de l'expérience étaient très différents de ce qui a été fait ici.

CHAPITRE 4 : DISCUSSION

Ce chapitre entreprend la discussion des résultats combinés des deux volets de l'étude.

En somme :

- on n'observe pas de différences significatives entre les modes de présentation des alarmes considérés, les résultats quantitatifs ne montrant pas un avantage marqué d'un mode de présentation sur les deux autres;
- il n'est pas possible d'avoir un plus grand nombre de sujets;
- l'expérience est aussi près que possible de la réalité de conduite;
- l'observation corrobore l'utilité probable des nouveaux modes de présentation;
- on en déduit qu'il existe une bonne probabilité que le remplacement de LISTE-CHRONO par LISTE-ÉTAT ou TOPO n'aurait pas d'impact négatif significatif sur la conduite.

La méthode préférée des opérateurs face à un événement complexe semble être de commencer par comprendre rapidement le nouvel état du système. Les premières alarmes peuvent les aider à s'orienter, mais ils ne vont pas loin dans le sens du diagnostic à cause de la manifestation probable de pathogènes latents et de la futilité d'essayer de prévoir l'évolution de systèmes complexes en mode perturbé. On en revient au vieil adage en médecine d'urgence : d'abord traiter les symptômes. Souvent l'opérateur mènera son analyse par sous-système et agira au mieux pour chaque sous-système⁵⁴.

Par ailleurs, la non-connaissance des premiers événements de conduite (qui résulte de l'utilisation du mode de présentation TOPO ou du synoptique) ne semble pas nuire de

⁵⁴ En fait comme le secouriste qui regarde aussi des « sous-systèmes » : la respiration, la circulation du sang, le système circulatoire (hémorragie).

façon significative aux opérateurs bien que ces derniers cherchent à connaître ces premiers événements de conduite, mais seulement s'ils peuvent le faire facilement et rapidement, et si ça n'entre pas en compétition avec la vue de l'unifilaire. Par ailleurs, l'information sur les premières alarmes et la gestion d'anomalies se font bien sur liste unique.

On peut distinguer trois aspects de la gestion des alarmes : la gestion des anomalies considérées une à une, la gestion de l'événement signalé par les alarmes, et la gestion de l'annonceur, c.-à-d. la gestion de l'affichage des messages d'alarme lors de l'événement; et à cela il faut évidemment ajouter la compréhension de la situation par l'opérateur.

La liste est utile presque tout le temps, c.-à-d. lorsqu'il y peu d'alarmes à la fois. Elle permet une gestion efficace des anomalies car on y retrouve la liste complète de toutes les anomalies. Cependant, elle est probablement moins utile en cas d'événement complexe pour la compréhension immédiate de la situation (sauf dans certains cas grâce aux premières alarmes) et pour la gestion de l'événement par sous-système.

Sans favoriser la vue intégrée par sous-système, la présentation de la liste avec état actuel (LISTE-ÉTAT) et schéma résumé en parallèle avec l'unifilaire semble permettre l'exploration rapide à plusieurs niveaux de détails sur les deux fenêtres (unifilaire et liste), ce qui s'avère nécessaire pour bien comprendre l'état de l'installation car autant il faut percevoir dans l'ensemble la nouvelle configuration de l'installation, autant un détail peut affecter les possibilités de fonctionnement d'un appareil donné. Par ailleurs, pour la plupart des événements, l'affichage LISTE-ÉTAT ne requiert pas de manipulation immédiate (gestion de l'annonceur), ce qui fait certes épargner du temps et de l'attention à l'opérateur tout en conservant plus d'information. LISTE-ÉTAT donne plus d'indices concomitants, et pourrait permettre la reconnaissance de patrons. Le schéma

résumé de l'affichage LISTE-ÉTAT donne en fait un genre de statut par sous-système (départ de ligne, barre, attache et ensemble groupe-transformateur-disjoncteur), et c'est probablement ce qui explique son attrait pour les opérateurs.

Aucune des solutions testées ne répond parfaitement à tous les besoins de base, c.-à-d. la gestion des anomalies, la compréhension après un événement complexe et la gestion par sous-système. Le Tableau 4.1 résume les avantages et inconvénients des modes de présentation testés.

Tableau 4.1 : Avantages et inconvénients des modes de présentation (tels que testés)

Types	Avantages	Inconvénients
LISTE-CHRONO	<ul style="list-style-type: none"> • liste complète des anomalies en un endroit • détails des alarmes immédiatement disponibles • chronologie exacte (peu importante selon les tests) • sensation plus claire du déroulement 	<ul style="list-style-type: none"> • ne donne pas directement l'état des points d'alarme
LISTE-ÉTAT	<ul style="list-style-type: none"> • liste complète des anomalies en un endroit • détails des alarmes immédiatement disponibles • au moins la moitié moins de lignes d'alarmes que LISTE-CHRONO • donne sans manipulation l'état des points d'alarme; les repères indiquent les messages à lire en priorité; • le résumé donne une vue générale de l'état par sous-système; donc des patrons visuels sont possibles • résumé (et peut-être les pictogrammes d'emplacement) peuvent aider à détecter des alarmes isolées parmi d'autres 	<ul style="list-style-type: none"> -pas de chronologie exacte (peu importante selon les tests) -perte d'une partie de la sensation du déroulement
TOPO	<ul style="list-style-type: none"> • information complète sur un sous-système en un endroit • patrons visuels possibles • permet la gestion par sous-système • rappel (à l'attention de l'opérateur) des alarmes actives lors des manoeuvres sur unifilaire • donne sans manipulation l'état des points d'alarme 	<ul style="list-style-type: none"> • détection plus difficile (oubli possible) • saturation • détail non disponible immédiatement • information chronologique absente

Par contre il est clair qu'un mode de présentation optimal n'existe pas encore, et donc, qu'en parallèle avec les efforts pour améliorer l'ingénierie et la filtration des alarmes, il faut continuer à chercher des meilleurs moyens de présenter l'information à l'opérateur.

En résumé, cette étude tend à montrer qu'en conduite de première ligne, l'opérateur n'a pas besoin de la chronologie stricte des messages d'alarmes et qu'il vaut la peine d'y substituer un annonceur donnant en tout temps l'état présent. En effet, si la chronologie stricte jouait un rôle indispensable ou très utile dans la compréhension, ça devrait ressortir clairement dans les résultats pour les conditions où les opérateurs sont privés de cette information, et ce d'autant plus que les deux nouveaux modes de présentation n'étaient pas familiers aux opérateurs. La réaction des opérateurs montre qu'ils jugent que la liste d'alarmes est indispensable et que l'information d'alarme intégrée à l'unifilaire doit être discrète⁵⁵ (ne doit pas clignoter, sauf en cas de déclenchements et peut-être quelques rares autres cas).

4.1. Suite à donner

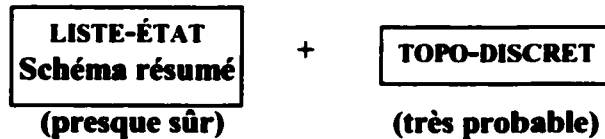
Les résultats des tests nous amènent donc à modifier les solutions qui étaient envisagées initialement (Tableau 4.2).

Tableau 4.2 : Solutions envisagées avant et après les tests

Cas considérés	Avant les tests	Après les tests
Unifilaire affiché en permanence (en installation)	TOPO seul	LISTE-ÉTAT avec TOPO discret
Annonceur autonome (sans unifilaire)	LISTE-ÉTAT	LISTE-ÉTAT
Unifilaire non affiché en permanence (téléconduite)	LISTE-ÉTAT	LISTE-ÉTAT avec TOPO discret

⁵⁵ TOPO discret

C'est à dire que les observations et les tests comparatifs nous amènent à considérer la solution suivante :



Les essais d'utilisabilité et les tests comparatifs apparaissent suffisamment probants pour nous amener à considérer l'annonceur à liste avec état actuel (LISTE-ÉTAT) comme une solution qui mérite d'être étudiée plus à fond; on vise ainsi à réaliser une étude longitudinale sur l'utilisation d'un prototype opérant en parallèle avec les annonceurs actuels. Pour prendre le risque de déloger le paradigme de la liste chronologique, seule l'étude de l'utilisation après un certain temps permettra d'être sûr, au moins pour les centrales hydroélectriques et les postes. Il s'agit donc d'effectuer un test longitudinal avec quelques améliorations issues des tests, et en permettant l'utilisation des filtres. Cela permettra de découvrir si des problèmes se manifestent dans l'utilisation de tous les jours; en effet LISTE-ÉTAT, en plus de servir pour la compréhension des événements complexes, est aussi la solution pour les alarmes survenant de façon isolée (c.-à-d. l'essentiel de l'utilisation au jour le jour).

Nous avons vu que l'étude indique qu'une solution prometteuse serait d'utiliser un annonceur à liste avec état actuel de façon combinée avec une version "discrète"⁵⁶ de l'annonceur topographique, c.-à-d. sans clignotement ni gestion des alarmes. Les caractéristiques principales de cet annonceur sont les suivantes :

⁵⁶ Le terme discret employé ici réfère à un annonceur qui ne cherche pas à avertir l'opérateur. En pratique, l'annonceur proposé n'a pas d'alarme sonore ni de clignotement, ni de gestion par accusé et rappel. La présentation n'attire pas l'œil, ne distrait pas l'opérateur de l'unifilaire. La signalisation des alarmes n'est utilisée ici qu'en information complémentaire à l'annonceur à liste (avant l'accusé) et comme rappel lors de consultation ultérieure de l'unifilaire. On n'y voit que les alarmes actives, indépendamment de leur état accusé ou non. Un codage encore moins visible est appliqué aux alarmes

- rappel (à l'attention, et non pas la fonction de rappel) discret des alarmes sur l'unifilaire (TOPO discret); accès direct aux listes détaillées par unité d'exploitation;
- déclenchements toujours signalés par le clignotement de l'appareil (la cause pouvant être signalée ailleurs par une alarme discrète);
- liste totale et schéma résumé avec accès aux listes par sous-système sur LISTE-ÉTAT;
- accès aux filtres, suivi et historique depuis LISTE-ÉTAT.

Cette solution va dans le sens de la recommandation de Kragt (1984) en faveur de l'utilisation simultanée de plusieurs modes de présentation, intègre l'information d'alarme dans le système d'information complet comme le recommandait Stanton (1994), et structure une partie de l'information d'alarme autour du diagramme de processus comme le recommandaient Zwaga et Hoonhoo (1994). Et si, comme l'affirme Rouse (1993), seule la reconnaissance de patrons permet de comprendre rapidement une situation complexe, cette présentation devrait permettre à terme d'en profiter. L'expérience nous montre qu'on peut mettre beaucoup d'information sur un écran pourvu qu'elle soit structurée de façon logique pour l'opérateur (Shneiderman 1998), et qu'il n'y aie pas trop d'appels à l'attention (clignotements).

L'opérateur ferait son analyse par sous-système sur l'unifilaire tandis que la détection et la gestion se feraient sur la liste. La compréhension générale serait basée sur l'utilisation combinée des deux modes de présentation. Le détail des alarmes d'un sous-système serait disponible à partir d'une sélection sur le schéma résumé de l'affichage LISTE-ÉTAT, ou un clic sur un pictogramme de l'annonceur TOPO. L'affichage topographique discret serait ainsi utilisé même dans les cas où l'unifilaire de l'installation n'est pas affiché au moment de l'événement mais seulement sur demande de l'opérateur.

Il faudra effectuer des essais d'utilisabilité pour cette combinaison de LISTE-ÉTAT avec l'annonceur TOPO discret. Il faudra en effet poursuivre avec des essais d'utilisabilité dynamiques plus larges (toutes les situations) pour la conception finale. Si l'annonceur doit afficher en tout temps ce qui est utile en cas d'événement important, ce même affichage doit aussi fonctionner le reste du temps. D'ailleurs Zwaga & Hoonhoo (1993) mentionnent que l'affichage utilisé lors d'une perturbation importante doit être très familier à l'opérateur pour que celui-ci puisse s'en servir efficacement.

Enfin il serait pertinent de procéder à une redéfinition de la performance du système d'automatisation en surcharge. La priorité doit d'abord être mise sur la présentation de l'état actuel (états, alarmes, mesures) immédiatement après l'événement, puis sur la présentation des premières alarmes et événements de conduite; la conservation (et l'affichage) de l'historique des événements de conduite ne doit pas se faire au dépens de ces éléments prioritaires⁵⁷.

Des nombreux commentaires des opérateurs lors des entrevues et des tests ont confirmé l'importance d'une bonne ingénierie sur l'efficacité de l'annonceur, quelque soit le mode de présentation. En particulier le choix judicieux des alarmes majeures (codées en rouge) permet à l'opérateur de prioriser la prise de connaissance des alarmes. Par ailleurs la limitation du nombre d'alarmes non pertinentes par conditionnement et en particulier par temporisation gagnerait à être travaillée.

L'observation a maintes fois confirmé la difficulté d'avoir une ingénierie bien adaptée, même pour la base, sans parler de systèmes intelligents. Des améliorations sensibles sont nécessaires tant dans la méthode de travail, que les règles à appliquer et les outils disponibles aux techniciens.

⁵⁷ Il est bien sûr utile et très souhaitable, si ça peut se faire sans nuire aux priorités énoncées, de conserver l'ensemble de l'historique des événements de conduite pour analyse ultérieure.

Par ailleurs, il est probable que les filtres additionnels gérés par l'opérateur peuvent permettre d'éliminer une bonne proportion des alarmes non pertinentes car bien adaptés aux conditions courantes de conduite. Ces filtres permettent ainsi à l'opérateur de compenser en partie pour une ingénierie déficiente.

Ceci dit, l'analyse de l'activité suggère, pour le filtrage des alarmes, une piste supplémentaire à celles déjà décrites dans la littérature. Il s'agirait de déterminer des regroupements d'alarmes pour l'annonceur LISTE-ÉTAT comme on le fait pour l'annonceur TOPO. Les messages d'alarmes regroupées serviraient en première ligne, pour la prise de conscience rapide de la situation, tandis que les alarmes détaillées seraient utilisées après coup pour le diagnostic. L'opérateur aurait ainsi une vue simplifiée et plus haut niveau des anomalies en cas d'événement complexe.

Par ailleurs, une raison possible du peu de sensibilité des tests est la signalisation des déclenchements par clignotement des appareils. L'annonceur topographique d'alarmes (TOPO) venait s'ajouter à un annonceur topographique spécialisé pour les déclenchements. Les déclenchements constituent pour plusieurs événements un élément important dans la reconnaissance du nouvel état de l'installation (c'est probablement moins vrai sur le synoptique où ce sont plutôt les annonceurs de groupe qui attirent l'attention). Il serait donc peut-être utile de traiter ainsi certaines autres "alarmes" très critiques.

4.2. Activité de réponse à un événement complexe

Par recoupements entre les observations et les essais, on peut proposer la description suivante de l'activité de réponse à un événement complexe:

A : orientation - évaluation de situation

- 1 : l'opérateur regarde les premières alarmes s'il les a devant les yeux, pour s'orienter et parfois aider à comprendre (il ne le fait pas avec SICC et le synoptique à Beauharnois, probablement parce que c'est trop lourd pour la qualité de l'information obtenue, par contre il le fait toujours si l'unifilaire n'est pas affiché, pour s'orienter⁵⁸).
- 2 : l'opérateur regarde les déclenchements (appareils clignotants) sur l'unifilaire;

B : gestion immédiate (compréhension plus détaillée, compréhension des pathogènes latents amenant des anomalies supplémentaires; et éventuellement action immédiate de sauvegarde)

- 3 : l'opérateur regarde les mesures;
- 4 : l'opérateur regarde les alarmes détaillées si elles sont disponibles sur l'unifilaire (ou les alarmes regroupées dans le cas du synoptique);
- 5 : l'opérateur regarde les alarmes détaillées restantes sur l'annonceur à liste.

C : gestion à terme (diagnostic pour demandes de réparation; si nécessaire)

- 6 : l'opérateur analyse l'historique des alarmes (il ne fait en général qu'assez de diagnostic pour savoir quel type d'intervention demander, ou pour déterminer s'il peut redémarrer un appareil donné par exemple).

⁵⁸ Pour savoir quel schéma unifilaire faire afficher.

CHAPITRE 5 : CONCLUSION

L'étude a permis de concevoir deux nouveaux modes de présentation des alarmes, et de les comparer au mode actuel de présentation en liste chronologique.

On avait fait l'hypothèse que les modes de présentation topographique et à liste donnant l'état actuel seraient préférables au mode traditionnel à liste chronologique pour la rapidité et l'exactitude de la compréhension de l'état du système après un événement complexe. Les tests ont été faits avec des experts face à des maquettes informatiques reproduisant l'installation à laquelle ils sont familiers.

Les tests ne montrent pas d'avantage marqué pour la présentation en liste chronologique, il apparaît donc que l'opérateur peut se passer de la chronologie stricte en conduite de première ligne⁵⁹, et plutôt utiliser un annonceur donnant l'état actuel des points d'alarme comme le fait LISTE-ÉTAT. C'est d'autant plus significatif que les opérateurs ont tous une expérience de plusieurs années avec un annonceur à liste chronologique. La liste chronologique doit demeurer disponible sur demande (à titre d'historique pour le diagnostic après coup), mais pas comme interface toujours active pour la surveillance. La liste comporte suffisamment d'avantages pour être conservée; en fait l'annonceur topographique intégré seul n'apparaît pas praticable. Le schéma résumé de l'annonceur LISTE-ÉTAT s'est révélé utile⁶⁰; il offre aussi la possibilité de reconnaissance de patrons.

⁵⁹ Même si à première vue l'annonceur LISTE-ÉTAT semble donner pas mal d'information chronologique, il subsiste très peu de cette information lors d'un événement comportant beaucoup d'alarmes à cause des mises à jour des lignes d'alarme.

⁶⁰ Il se pourrait même que ce soit suffisant comme lien avec la topographie du processus lors de la réaction initiale à un événement complexe.

Les tests permettent d'entrevoir un gain supplémentaire d'efficacité après entraînement avec l'affichage LISTE-ÉTAT, et peut-être même avec l'affichage TOPO, mais au prix de modifications de la présentation testée.

En effet, l'annonceur topographique ne peut qu'être utile, mais à condition d'être discret⁶¹. Cet annonceur supporte la mémoire à court terme quand l'opérateur porte son attention en alternance entre la liste et le schéma unifilaire lors de la compréhension initiale d'un événement complexe, offre la possibilité de reconnaissance de patrons et sert pour le rappel situé des alarmes actives en opération normale. Les opérateurs auront besoin d'une certaine habitude pour bien l'utiliser, en particulier pour se constituer une banque de patrons pour la reconnaissance. Par ailleurs cet annonceur permet d'intégrer près de la représentation d'une unité d'exploitation une plus grande partie des informations nécessaires pour en connaître l'état.

On peut souvent observer deux étapes de réaction à un événement complexe, d'abord la compensation de sauvegarde, puis la compensation visant le rétablissement de la mission. Les résultats donnent à penser que pour la première étape, l'opérateur se fie avant tout à l'état du processus⁶², pour ne tenter un diagnostic que plus tard afin de pouvoir rétablir la mission.

On peut en conclure qu'il est très probable que dans la représentation, les aspects d'état actuel et topographique doivent primer sur l'aspect séquentiel. Dans tous les cas où c'est possible (l'hydroélectrique en est un), il est avantageux de donner une représentation complète de tout le processus sur plusieurs écrans et d'y intégrer une partie de l'aspect annunciation, c.-à-d. TOPO discret. Les représentations plus ou moins dissociées qu'on

⁶¹ C.-à-d. sans gestion, celle-ci se faisant normalement sur l'annonceur à liste (sauf pour les cas simples). L'état du point sans codage pour l'accusé suffit sur l'unifilaire; (l'opérateur n'a pas à noter les alarmes momentanées si le système le fait pour lui dans l'historique).

⁶² De façon pragmatique: l'opérateur recherche un système cohérent avec ses observations en essayant de déterminer l'état général par sous-système. Ça réduit la complexité de l'analyse, pour pouvoir rapidement protéger, isoler ou contourner les éléments affectés.

retrouve aujourd'hui nuisent à la compréhension d'événements complexes. Autrement dit, on doit concevoir l'IHM d'intervention immédiate pour aider à rétablir rapidement le modèle mental de l'opérateur après un événement plutôt que pour le diagnostic. Les principes de base d'une telle conception sont de donner une présentation d'ensemble détaillée avec annonceur intégré, de privilégier la présentation de l'état actuel plutôt que la séquence des événements de conduite, et limiter le conditionnement des alarmes à des filtres simples contrôlés par l'opérateur.

Les alarmes actives constituent un élément essentiel à la compréhension de l'état de l'installation. On en revient à donner tout ce qu'il faut pour la tâche en même temps et autant que possible dans un espace visuel structuré de façon adaptée à la tâche.

Il existe donc une forte présomption que l'approche est bonne pour les postes et centrales hydroélectriques; il est en outre très probable que LISTE-ÉTAT demeure utile en conditions normales d'exploitation et pour la gestion des alarmes.

L'expérimentation a aussi constitué un excellent essai d'utilisabilité. L'observation des tests fut très féconde pour l'analyse de l'activité fine; l'information recueillie n'était pas accessible autrement pour des opérateurs d'expérience face à des cas complexes. Les tests ont conforté l'opinion qu'il est essentiel de faire des essais en situations dynamiques pour obtenir des résultats valables pour des annonceurs.

5.1. Voies de recherche

En particulier pour améliorer l'expression de l'idée TOPO, il y a intérêt à effectuer une recherche complémentaire en laboratoire sur des cas simples. En particulier, l'ajout du clignotement⁶³ des éléments de connexion sur perte de tension pourrait peut-être

⁶³ Ou peut-être seulement le codage de la connexité perdue.

permettre, en guidant le regard, une utilisation beaucoup plus efficace de l'annonceur topographique. Il est important de tester ce dernier aspect car il peut avoir une incidence sur la reconnaissance de patrons. En fait un des gros manques de la représentation actuelle des unifilaires est de ne pas illustrer clairement la connexité; l'opérateur doit regarder l'état de tous les appareils de coupure autour du point d'intérêt pour déterminer la connexité. Il est facile de faire une erreur dans cette évaluation séquentielle. Par contre il est primordial de ne jamais présenter un codage de charge, de tension ou de changement qui ne serait pas absolument certain; et ce n'est peut-être pas possible de le garantir à tout coup s'il est élaboré par calcul.

Il serait probablement utile de regarder les rapports d'incidents d'exploitation et d'identifier quand l'annonceur est en cause; puis de voir si des éléments de conception d'annonceur pourraient intervenir.

Est-il possible qu'on ne fasse la capture des événements de conduite transitoires que parce qu'il faut noter pour usage ultérieur, alors qu'on s'en passerait peut-être complètement en conduite de première ligne pour savoir l'état actuel? Pourrait-on n'afficher que les alarmes actives sur LISTE-ÉTAT, autrement dit faire le rappel automatique? Cela diminuerait de beaucoup le nombre de messages d'alarme à lire⁶⁴.

Par ailleurs, malgré le progrès possible avec les nouvelles représentations étudiées ici, il demeure utile de chercher à améliorer plus avant les annonceurs pour permettre à l'opérateur une compréhension plus rapide et correcte du nouvel état du système après une perturbation importante.

Finalement, les résultats de cette étude corroborent la conjecture selon laquelle lors d'un événement important, l'opérateur cherche d'abord à connaître le nouvel état du système

⁶⁴ Le mode « Accusé-rappel automatique » sur l'annonceur fait justement cela. Il faudra voir à l'usage si les opérateurs utilisent beaucoup ce mode.

pour traiter les symptômes immédiatement. Ceci indique qu'il sera sans doute utile de poursuivre dans cette direction.

L'implantation des solutions testées ici, et leur évaluation subséquente, demeure le test ultime.

5.2. Recommandation pratique

En ce qui concerne l'entreprise, l'étude débouche sur la recommandation suivante pour LISTE-ÉTAT et TOPO discret :

- l'observation et l'analyse, la littérature sur le sujet, et les résultats qualitatifs des essais supportent une présomption assez forte d'amélioration significative de la performances des opérateurs avec les nouveaux modes de présentation des alarmes;
- les résultats quantitatifs n'ont pas montré de différences significatives entre les trois modes de présentation, on peut donc penser qu'il y a peu de risques à se passer de la chronologie stricte en première ligne;
- on recommande donc d'adopter les nouveaux modes de présentation des alarmes pour la conduite et la téléconduite des centrales hydroélectriques et des postes de l'entreprise.

5.3. Post-scriptum

Le design de LISTE-ÉTAT a donné lieu à trois implémentations jusqu'à maintenant :

- annonceur à liste de l'UCC-II d'Hydro-Québec, dont on prévoit l'installation des premières unités en 2002;
- annonceur à liste d'installation (UAT) d'Hydro-Québec, dont on prévoit aussi l'installation des premières unités en 2002;

- annonceur à liste du produit VSS de Cybectec, qui a livré depuis plus de deux ans un peu plus de quinze unités à Hydro-Québec⁶⁵, ainsi que quelques unités à Electricité de France ainsi qu'à Newfoundland Power.

Par ailleurs l'UCC-II d'Hydro-Québec incorpore une version discrète de l'annonceur TOPO.

⁶⁵ Dont une est installée depuis deux ans au poste Lévis, le plus gros poste d'Hydro-Québec.

RÉFÉRENCES

BAINBRIDGE, L., (1983). Ironies of Automation. Automatica, vol. 19, no. 6, p. 775-779, 1983

BARON, S. et BERLINER, J.E., (1977). The Effect of Deviate Internal Representations in the Optimal Model of the Human Operator. Proc. Ann. Conf. on Manual Control, pp.17-26, MIT, Cambridge, MA.

BELTRANDA, G. et SKULL, G., (1990). The New EDF PWR Control Room. Proceedings of the American Power Conference, 336-341.

BRANSBY, M.L., (1998). Matching alarm systems to people. Proceedings of UKACC International Conference on Control, September 1998.

BROADHEAD, N. et EARNSHAW, J.K., (1998). Optimization of the Sizewell B alarm list displays . Proceedings of the 1998 IEE Colloquium on Best Practices in Alarm Management.

CAMPBELL BROWN, D., (1999). Alarm Management : A problem worth taking seriously . Control Magazine, July and August 1999.

DE KEYSER, V., (1988). De la contingence à la complexité : l'évolution des idées dans l'étude des processus continus. Le Travail Humain, tome 51, no. 1, p. 1-18.

DICKEN, C.R., (1998). Advanced control desks for effective display of alarms . Proceedings of the 1998 IEE Colloquium on Best Practices in Alarm Management.

DINADIS, H. et VICENTE, K.J., (1994). Ecological Interfaces for Complex Industrial Plants. CEL 9-06, Final Grant Report, Cognitive Engineering Laboratory, University of Toronto.

DREYFUS, H. et DREYFUS, S., (1986). Five steps from novice to expert. pp. 16-51 (chap. 1) in Mind over machine, The Free Press, New York.

ENDSLEY, M.R., (1995). Towards a theory of situation awareness in dynamic systems. Human factors, 37, 1, 32-64.

GASCON, A. et, ROBERT, J.-M., (1999). Étude comparative de trois modes de présentation des alarmes pour la surveillance de centrales hydroélectriques. Actes du 3^e Congrès international de génie industriel, 1999, vol. II, pages 1037-1046.

GREEN, M. I., (1989). A Sigh of Relief, the First-aid Handbook for Childhood Emergencies. Bantam Books.

KLEIN, G., (1997). The current status of the naturalistic decision making framework. dans Decision Making Under Stress, Emerging Themes and Applications. edited by Flin, R., Salas, E., Strub, M., Martin, L., Ashgate.

KRAGT, H. (1984). A comparative simulation study of annunciator systems. Ergonomics, 27, 9, 927-945.

LEES, F.P., (1983). Process Computer Alarm and Disturbance Analysis: Review of the State of the Art. Computers and Chemical Engineering, 7, 6, 669-694.

LEJON, C.-J., (1995). Il reste trop d'archaïsme dans la communication homme-système. Compte rendu d'entrevue par Jean-François Peyrucat dans Mesures 674, avril 1995.

MATTIASSON, C., (1999). The alarm system from the operator's perspective. Proceedings of International Conference on People in Control (Human Interfaces in Control Room, Cockpits and Command Centres). June 1999.

MORAY, N., (1987). Intelligent aids, mental models, and the theory of machines. International Journal of Man Machine Studies, 27, 619-629.

O'HARA, J.M. et BROWN, W.S., (1991). Nuclear Power Plant Alarm Systems: Problems and Issues. Proceedings of the Human Factors Society 35th Annual Meeting, ACM Transactions on Information Systems, System Development: Nuclear Systems, 1233-1237.

PEW, R., (1980). Evaluation of factors influencing operator decision-making . Conf. on Computerized Operator Support Systems, 1980, Florida.

REASON, J.T., (1996). Cognitive under-specification : its varieties and consequences . in Barr's, B., (Eds), The Psychology of Error : A Window on the Mind. New York, Plenum Press.

ROUSE, W.B., (1983). Models of Human Problem Solving : Detection, diagnosis and compensation for System failures. Automatica, 1983, vol. 19, nu. 6, pp. 613-625.

SARTER, N.B. et WOODS, D.D., (1991). Situation awareness : a critical but ill-deffined phenomenon. International Journal of Aviation Psychology, 1, 45-57.

SCHNEIDERMAN, B., (1998). Designing the user interface : strategies for effective human-computer interaction. Addison-Wesley.

STANTON, N. A., (1994). Alarm-initiated activities. Dans Stanton, N. A. (Eds), Human Factors in Alarm Design. Taylor & Francis.

VAN DER SHAAF, T.W., (1989). Redesigning and Evaluating VDU Graphics and Using Human-Computer Interfaces and Knowledge Based Systems. G. Salvendy & M.J. Smith (Eds.), Elsevier Science Publishers.

VICENTE, K.J., (1999). Cognitive Work Analysis, Toward Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work. Lawrence Erlbaum Associates.

WOODS, D.D., (1995). The alarm problem and directed attention in dynamic fault management.. Ergonomics, Volume 38, Number 11, November 1995: Special Issue: Warnings in Research and Practice, Page 2371.

ZWAGA, H.J.G. et HOONHOOT, H.C.M., (1994). Supervisory Control Behaviour and the Implementation of Alarms in Process Control. Chap. 7 in Human Factors in Alarm Design, N. Stanton (Ed.), Taylor & Francis, 1994.

ZWAGA, H.J.G. et HOONHOOT, H.C.M., (1993). Operator behaviour and supervisory control systems in the chemical process industry. Proceedings of the 5th International Conference on Human-Computer Interaction, Orlando, USA, 1993.

ANNEXE I : DOCUMENTS HYDRO-QUÉBEC

HYDRO-QUÉBEC (CHAN, S., GASCON, A.), (1997). Analyse de tâche de surveillance et diagnostic, opérateur CER. RE-A-96-02, version 2, février 1997.

HYDRO-QUÉBEC (DAUDE, M., GASCON, A.), (1995). Surveillance, IPM de salle de commande, Système ALCID-SICC de deuxième génération. Décembre 1995.

HYDRO-QUÉBEC (FISSET, J.-Y.), (1995). Organisation de l'information dans les systèmes de surveillance et de commande de processus. Septembre 1995.

HYDRO-QUÉBEC (GASCON, A.), (1997). IPM hybride pour les groupes à Beauharnois, rapport d'essais. RE-A-97-01, version 1.0, février 1997.

HYDRO-QUÉBEC, (GASCON, A.), (1998). Mécanismes cognitifs mis en œuvre lors de l'apparition d'alarmes, conception de l'IPM pour la surveillance en salle de commande d'installation électrique. Version 2.0, août 1998.

HYDRO-QUÉBEC, (GASCON, A.), (2000). Points saillants de l'étude, Définition de l'IPM de conduite en installation. Version 1.0, janvier 2000.

ANNEXE II : IMAGES DES MAQUETTES

Cette annexe présente des images des annonceurs utilisés pour l'expérience. Chaque maquette est montrée à la fin du scénario 2 (déclenchement de deux lignes et de 9 groupes), sans qu'il y ait eu d'action par l'opérateur.

Ensuite le design global de l'UCC-II est brièvement expliqué.

II.1. LISTE-CHRONO

Annuaire de l'admission en liste chronologique

020724	16:52:57	133...P0.63	Suppression pompe huile transfo	N
020724	16:52:57	136...P0.63	Suppression pompe huile transfo	N
020724	16:52:58	030....12>	Surveillance alt. 1100	N
020724	16:52:58	031....12>	Surveillance alt. 1100	N
020724	16:52:58	033....12>	Surveillance alt. 1100	N
020724	16:52:58	020000710<	Bas niv. huile bas. recup. sys. oléo.	N
020724	16:52:58	020000.P0-	Arrêt pompe oléo. bas niv. recup.	N
020724	16:52:58	034....12>	Surveillance alt. 1100	N
020724	16:52:58	029....12>	Surveillance alt. 1100	N
020724	16:52:58	029000710<	Bas niv. huile bas. recup. sys. oléo.	N
020724	16:52:58	029000.P0-	Arrêt pompe oléo. bas niv. recup.	N
020724	16:52:58	035....12>	Surveillance alt. 1100	N
020724	16:52:58	135...P0.63	Suppression pompe huile transfo	N
020724	16:52:59	036.U0LT.>	Dépassement de seuil	N
020724	16:52:59	034000.63<	Basse pression réservoir oléo.	N
020724	16:52:59	020000.63<	Basse pression réservoir oléo.	N
020724	16:52:59	030000.63<	Basse pression réservoir oléo.	N
020724	16:53:00	020.U02.74	Défaut vanne 2 prise d'eau	N
020724	16:53:00	020.U01.74	Défaut vanne 1 prise d'eau	N
020724	16:53:00	037P007.74	Cond. anorm. pompe exhaure 9,10,11 037	N
020724	16:53:01	023.....96	01. enreg. temp. alt, transfo, palier	N
020724	16:53:02	135...P0.63	Suppression pompe huile transfo	N
020724	16:53:02	035000.63<	Basse pression réservoir oléo.	N
020724	16:53:02	136...P0.63	Suppression pompe huile transfo	N

Figure II.1 : Maquette d'annuaire à liste chronologique, LISTE-CHRONO.

II.2. LISTE-ÉTAT

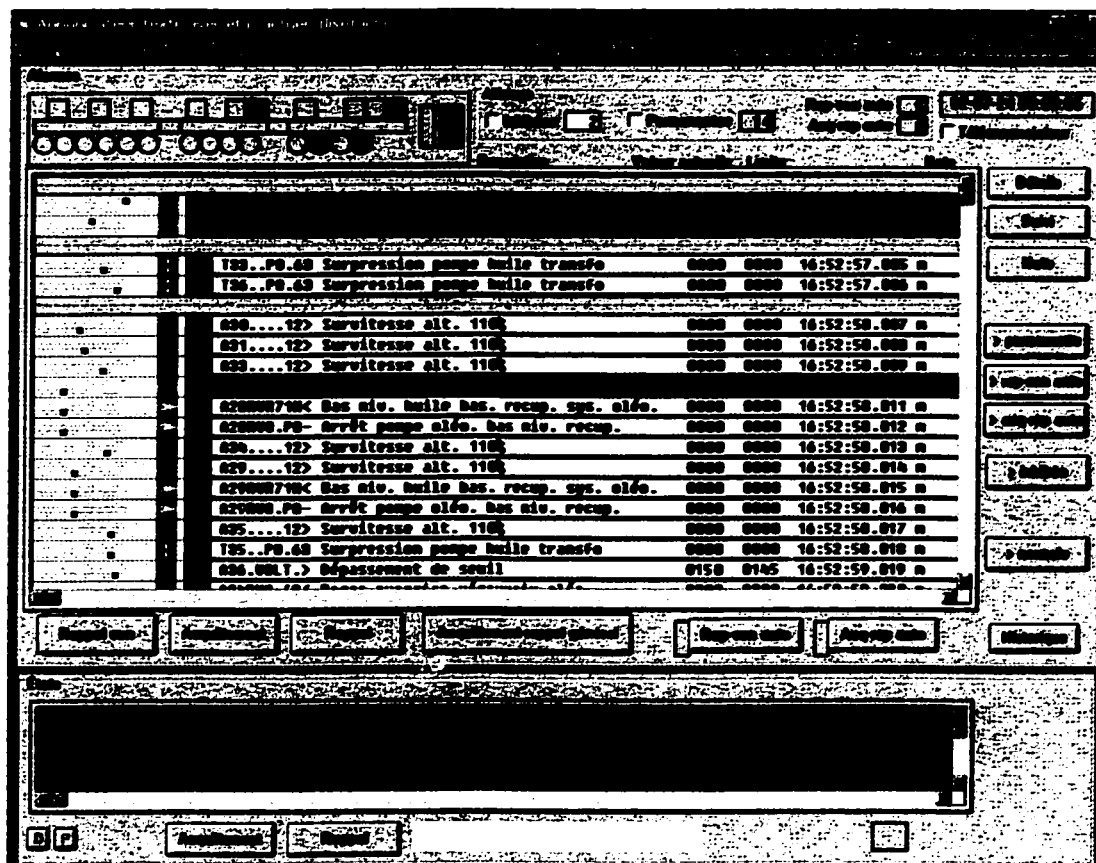


Figure II.2 : Maquette d'annonceur indiquant l'état actuel, LISTE-ÉTAT.

II.3. TOPO

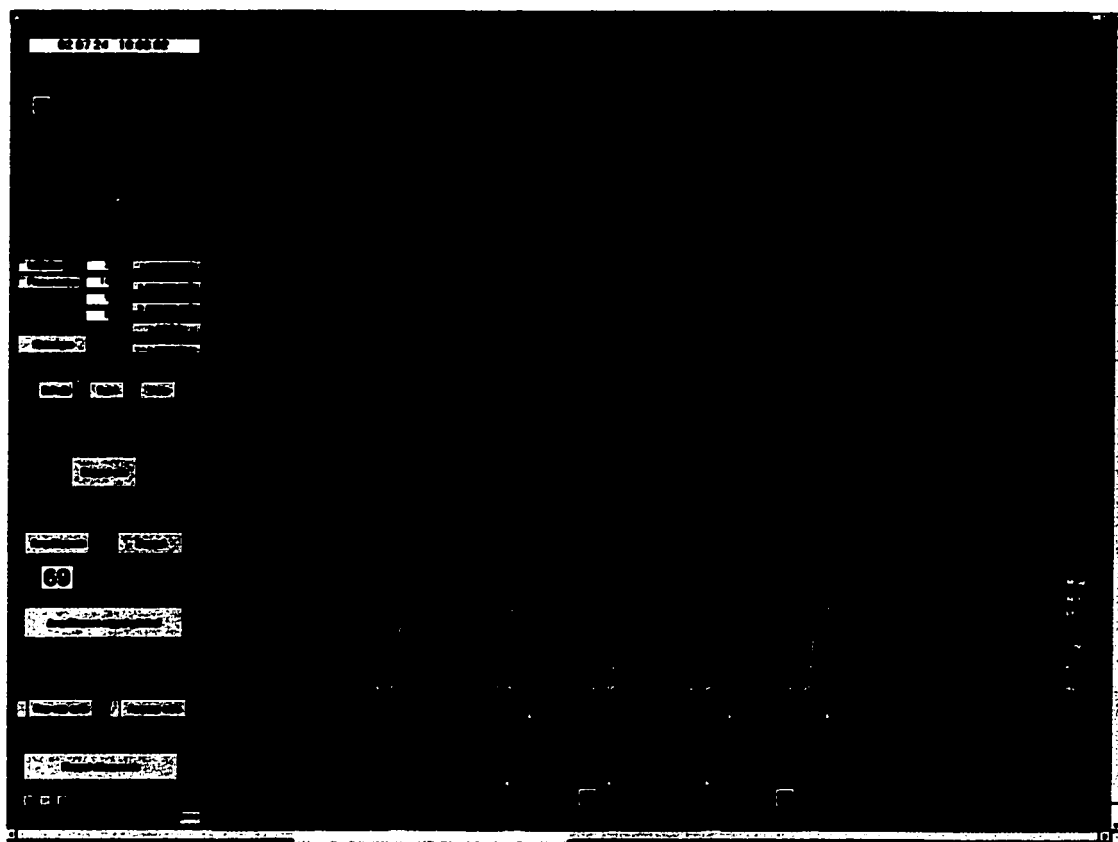


Figure II.3 : Maquette d'annonceur topographique intégré à l'unifilaire, TOPO.

II.4. UCC-II

Pour situer un peu le contexte d'utilisation de ces annonceurs, voici une brève description du design global pour l'UCC-II issue du projet R&D.

L'IHM du système ALCID/SICC actuel (de première génération) a été conçue par fonctions, et en s'inspirant fortement de l'IHM utilisée dans les CER depuis la fin des années 70. Dans le cadre du projet R&D, nous avons défini l'IHM de la deuxième génération de l'UCC du système ALCID-SICC (voir la Figure II.4). Le pupitre de commande comprend de deux à quatre écrans avec un gestionnaire multi-fenêtre en mode GUI.

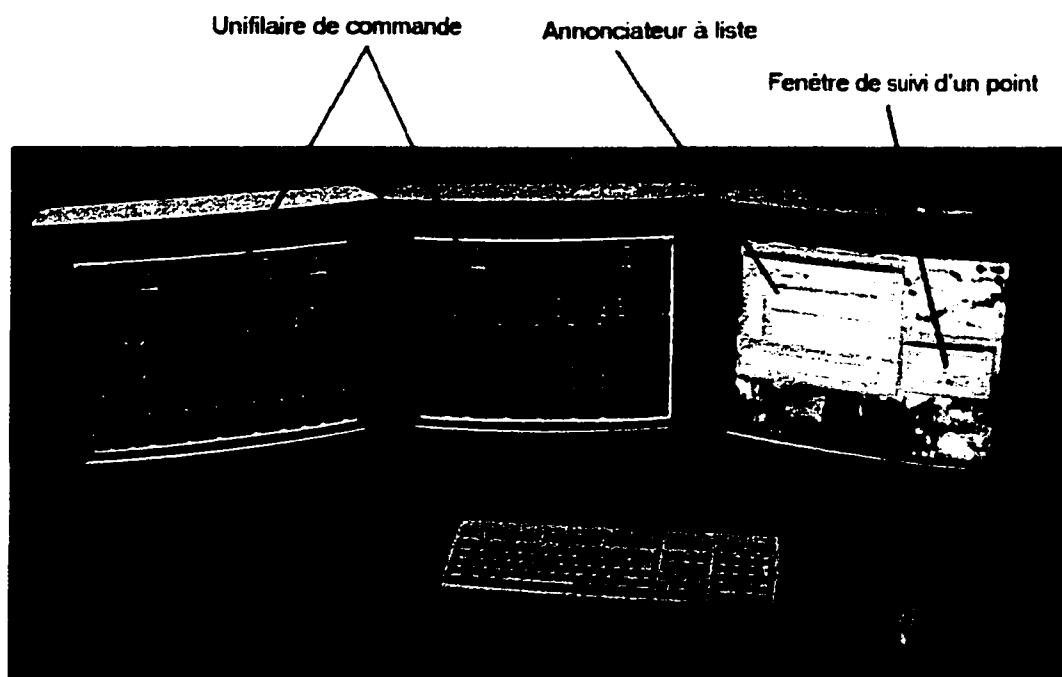


Figure II.4 : IHM de l'UCC d'ALCID/SICC de deuxième génération.

Voici un résumé des principales caractéristiques de cette IHM :

- unifilaire détaillé toujours visible en entier; les autres fenêtres sont présentées sur un écran de travail distinct;

- visualisation de la connexité électrique;
- intégration de pictogrammes d'alarme à l'unifilaire;
- annonceur en liste donnant l'état actuel, toujours visible;
- filtres d'alarmes commandés par l'opérateur